



Lúcia Irina António Oliveira

Licenciada em Engenharia Geológica

Estudo de um traquito da região de Mafra para aplicação como rocha ornamental

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Geológica

Orientador: Mestre António Carlos Gil Augusto Galhano,
FCT/UNL

Co-orientador: Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão,
FCT/UNL

Júri

Presidente: Doutora Lúcia Nunes de Sousa Pereira de Castro,
Profª Auxiliar, FCT/UNL

Arguentes: Doutora Cristina Isabel Paulo de Carvalho,
Investigadora Auxiliar, LNEG

Vogais: Mestre António Carlos Gil Augusto Galhano,
FCT/UNL

Março 2017



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Estudo de um traquito da região de Mafra para aplicação como rocha ornamental

Copyright 2017 © Lúcia Irina António Oliveira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao Sr. Ramos pela sugestão do tema, por toda a ajuda e acima de tudo pela oportunidade e confiança. À sua empresa, Granitos da Maceira, que disponibilizou todas as amostras necessárias para a realização deste trabalho.

Ao professor Carlos Galhano pelo acompanhamento e orientação desde o início da investigação. Um agradecimento especial por toda a disponibilidade, confiança e simpatia ao longo trabalho e sem as quais o resultado não seria o mesmo. Ao professor Joaquim Simão pelo apoio, disponibilidade e esclarecimento de dúvidas.

À engenheira Cristina Carvalho pela ajuda, disponibilidade e companhia durante a realização dos ensaios no LNEG de São Mamede de Infesta, onde fui bem recebida por toda a equipa, durante os vários dias da minha estadia pelo Porto. À engenheira Vera Pires pela cedência do laboratório da Frontwave, em Sintra, para a realização de ensaios. Ao professor Fernando Rocha pelos equipamentos disponibilizados na Universidade de Aveiro.

Ao professor Pedro Lamas, engenheiro Victor, professora Manuela Simões, professora Fernanda Pessoa, professor Fernando Lidon, professor Carlos Chastre e professor Rui Micaelo da FCT/UNL que colaboraram na realização deste trabalho, mostrando-se sempre dispostos a ajudar.

Ao colega Filipe pela aventura no campo durante a realização da prospeção geofísica. À colega Inês pela companhia, ajuda e momentos divertidos ao longo dos vários meses que partilhámos o laboratório. E em geral, a todos os colegas do curso que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho.

Aos meus pais, aos meus avós e à minha tia-avó que proporcionaram a realização deste curso e que estiveram sempre presentes e a apoiar-me. Aos meus primos da estação de Mafra pela ajuda e momentos bem passados em família.

Por último, mas não menos importantes, a todos os meus amigos, especialmente ao César, à Jéssica, ao Luís, à Sandra e ao Ricardo.

Resumo

A presente dissertação teve como tema principal a identificação e caracterização tecnológica de um traquito, uma rocha vulcânica com afloramentos no concelho de Mafra (Portugal), devido às suas características estéticas terem suscitado interesse na sua possível exploração.

O objetivo do trabalho foi testar a rocha de forma a identificar o seu potencial no setor das rochas ornamentais. Foram realizados ensaios dos mais diversos tipos, de forma a incluir um grande leque de situações a que o material poderá estar sujeito em obra. A rocha foi identificada através da análise mineralógica e química, com o objetivo de confirmar a sua classificação segundo a bibliografia. Através de normas padronizadas, adaptações e procedimentos internos, a rocha foi testada com ensaios físico-mecânicos para determinação das suas propriedades. Adicionalmente foram realizados ensaios de alteração para estudar a alterabilidade do material aos ambientes expostos e a influência nas suas características físico-mecânicas e a nível visual. Os ensaios foram realizados em laboratórios com equipamentos e procedimentos que simulam o ambiente pretendido de forma acelerada, de modo a permitir a determinação das respetivas características.

A rocha apresenta três variedades, cujas composições mineralógicas são semelhantes mas que apresentam variações texturais e de cor. Para determinar as suas dimensões em profundidade, foi realizada prospeção geofísica, nomeadamente a geoeletrica. Este traquito não foi alvo de qualquer estudo anterior, por isso, foi necessário identificar formações semelhantes e que tivessem sido previamente estudadas, como é o caso dos traquitos da região dos Açores, usados como rocha ornamental. Também foram utilizados valores tabelados de granitóides ornamentais portugueses para comparar com os resultados obtidos e estabelecer uma classificação.

Os ensaios realizados permitiram classificar o traquito como uma rocha resistente a ações mecânicas intensas, apesar da sua elevada absorção de água, fator que pode influenciar o comportamento do material no exterior. Relativamente ao estudo de alteração realizado na rocha, esta demonstrou ser pouco suscetível a ambientes com grandes amplitudes térmicas, sal, lixiviação e ácidos. Segundo os parâmetros analisados, a rocha é de elevada qualidade, podendo ser utilizada em diversas aplicações e produtos.

Palavras-chave: traquito, rocha ornamental, caracterização, alteração, exploração, aplicação.

Abstract

The following dissertation had as the main subject the technological identification and characterization of a trachyte, a volcanic stone with outcrops in the county of Mafra (Portugal), due to its aesthetics characteristics, which has aroused interest in its possible exploitation.

The purpose of this work was to test the rock in order to identify its potential among the ornamental stone. Several tests were made, in order to include a wide range of situations to which the material may be subject. The stone was identified through chemical and mineralogical analysis, so we could confirm its classification according the bibliography. Through european standards, adaptations and internal procedures, the stone was tested using physical and mechanical tests to determine its proprieties. Additionally, alteration experiments were made to study the rock's alterability to exposed environments and the influence in its physical and mechanical characteristics, as well as its visual level. The experiments were conducted in laboratories with equipments and procedures that simulate the desired environment in a faster way, in order to allow the determination of its characteristics.

The rock presents three varieties, whose mineralogical compositions are similar, but with different textures and colour. To determine its in-depth dimensions, a geophysical prospection was made, namely geoelectrical. This trachyte hasn't been subject to any other tests before, so it was necessary to identify similar formations that had been previously studied, like the trachytes of Azores, which are used as an ornamental stone. We also used tabulated values of portuguese ornamental granitoids to compare them with our results and establish a classification.

The experiments performed allowed us to classify the trachyte as a resistant stone to intense mechanical actions, despite of its high water absorption, a factor that can influence the material behaviour in the outsider. Regarding the alternation study performed on the rock, it demonstrated us to be little susceptible to environments with large thermal amplitudes, salt, leaching and chemical. According to the analyzed parameters, this trachyte has a high quality, which can be used in various applications and products.

Key-words: trachyte, ornamental stone, characterization, alteration, exploration, application.

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice Geral.....	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xix
1 Introdução	1
2 Rochas ornamentais.....	5
2.1 Estudo de mercado	7
2.2 Classificação das rochas vulcânicas	9
3 Materiais e métodos	11
3.1 Traquito	11
3.2 Ensaaios	13
3.2.1 Caracterização petrográfica.....	17
3.2.2 Análise mineralógica	18
3.2.2.1 Difração de raios-X (DRX)	18
3.2.3 Análise da cor	20
3.2.4 Ensaaios físico-mecânicos	22
3.2.4.1 Índices Físicos	22
3.2.4.1.1 Absorção de água à pressão atmosférica (Ab) – Procedimento interno	22
3.2.4.1.2 Massa volúmica aparente (Ma) e porosidade aberta (PA) – Procedimento interno ..	23
3.2.4.1.3 Coeficiente de absorção de água por capilaridade (C ₁) – NP EN 1925:2000.....	24
3.2.4.2 Resistência à compressão uniaxial (Ru) – NP EN 1926:2008.....	25
3.2.4.3 Resistência à flexão sob carga centrada (Rc) – NP EN 12372:2008	26
3.2.4.4 Determinação da velocidade de propagação de ultrassons (V) – NP EN 14579:2007	27
3.2.4.5 Resistência ao gelo (Rg) – Procedimento interno.....	28
3.2.4.6 Resistência ao desgaste com máquina de Capon (Rd) – NP EN 14157:2007	29
3.2.4.7 Resistência à ancoragem (Ra) – NP EN 13364:2006	31
3.2.4.8 Resistência ao choque (Rq) – NP EN 14158:2005	32
3.2.5 Ensaaios de alteração	33
3.2.5.1 Sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos (St) – Procedimento interno	34
3.2.5.2 Resistência ao nevoeiro salino – Procedimento interno	35

3.2.5.3	Resistência à cristalização de sais – NP EN 12370:2001	36
3.2.5.4	Lixiviação contínua com extrator de Soxhlet	37
3.2.5.5	Ataque com reagentes químicos	40
3.2.6	Análise química	41
3.2.6.1	Microscópio Eletrónico de Varrimento	41
3.2.6.2	Fluorescência de raios-X (FRX).....	43
3.2.6.3	Absorção atômica	44
4	Enquadramento da área de estudo.....	45
4.1	Enquadramento geográfico.....	45
4.2	Enquadramento geológico.....	47
4.2.1	Prospecção geofísica.....	50
4.2.1.1	Resultados obtidos.....	52
5	Resultados experimentais e sua avaliação	55
5.1	Caracterização petrográfica.....	55
5.2	Análise mineralógica.....	60
5.2.1	Difração de raios-X (DRX).....	60
5.3	Análise da cor.....	62
5.4	Ensaio físico-mecânicos	63
5.4.1	Índices físicos	64
5.4.2	Resistência à compressão uniaxial (Ru).....	67
5.4.3	Resistência à flexão sob carga centrada (Rc)	68
5.4.4	Determinação da velocidade de propagação de ultrassons (V)	69
5.4.5	Resistência ao gelo (Rg)	70
5.4.6	Resistência ao desgaste com máquina de Capon (Rd)	71
5.4.7	Resistência à ancoragem (Ra)	71
5.4.8	Resistência ao choque (Rq).....	72
5.5	Ensaio de alteração	73
5.5.1	Sensibilidade a alterações de aspeto produzida por ciclos térmicos	73
5.5.2	Resistência ao nevoeiro salino	74
5.5.3	Resistência à cristalização de sais	76
5.5.4	Lixiviação contínua com extrator de Soxhlet.....	78
5.5.5	Ataque com reagentes químicos	80
5.6	Análise química.....	85
5.6.1	Microscópio eletrónico de varrimento	85
5.6.2	Fluorescência de raios-X.....	85
5.6.3	Absorção atômica.....	86
6	Considerações finais	91

7 Referências bibliográficas	95
8 Anexos	103
Anexo A – Tabelas das análises de cor e ensaios físico-mecânicos	103
Anexo A.1 - Parâmetros colorimétricos	103
Anexo A.2 – Índices físicos	104
Anexo A.3 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade	105
Anexo A.4 – Resistência à compressão uniaxial	106
Anexo A.5 – Resistência à flexão sob carga centrada	108
Anexo A.6 – Velocidade de ultrassons	109
Anexo A.7 – Resistência ao gelo	110
Anexo A.8 – Resistência ao desgaste com máquina de Capon	111
Anexo A.9 – Resistência à ancoragem	112
Anexo A.10 – Resistência ao choque	113
Anexo B – Tabelas dos ensaios de alteração	114
Anexo B.1 – Sensibilidade a alterações de aspeto produzida por ciclos térmicos	114
Anexo B.2 – Resistência ao nevoeiro salino	115
Anexo B.3 – Resistência à cristalização de sais	118
Anexo B.4 – Lixiviação contínua com extrator Soxhlet	119
Anexo B.5 – Ataque com reagentes químicos	120
Anexo C – Tabelas das análises químicas e mineralógica	121
Anexo C.1 – Microscópio eletrónico de varrimento	121
Anexo C.2 – Fluorescência de raios-X	122
Anexo C.3 – Absorção atômica	123

Índice de Figuras

Figura 1 – Convento/Palácio Nacional de Mafra	5
Figura 2 – Gráfico das rochas ornamentais exploradas em Portugal continental no ano 2014 (Fonte: DGEG 2014)	7
Figura 3 – Gráfico das rochas ornamentais exploradas em Portugal continental no ano 2015 (Fonte: DGEG 2015)	7
Figura 4 – Evolução das exportações de rochas ornamentais em Portugal (1997-2015)..	8
Figura 5 – Evolução das importações de rochas ornamentais em Portugal (2001-2015)..	8
Figura 6 - Classificação das rochas vulcânicas de acordo com a composição modal, segundo Streckeisen (1976) (adaptado de Le Maitre, 1989).	10
Figura 7 - Classificação química das rochas vulcânicas segundo Le Bas <i>et al.</i> (1986). (Adaptado de Gomes & Silva, 1997).	10
Figura 8 – Porção de traquito detonado do maciço apresentando as três variedades em estudo.....	13
Figura 9 - Polimento das taliscas de traquito durante a elaboração das lâminas delgadas	17
Figura 10 - Diagrama de difração de raios-X na face de um cristal com planos da rede cristalina de equidistância d , para um ângulo de difração θ (Fonte: Pinho, 2003)..	19
Figura 11 - Difractograma.....	20
Figura 12 - Esquema de cores no espaço $L^*a^*b^*$ (Fonte: Ozen <i>et al.</i> , 2014)	21
Figura 13 - Colorímetro usado para as medições realizadas.	21
Figura 14 - Realização do ensaio de absorção de água por capilaridade em 10 provetes de traquito.	24
Figura 15 - Prensa hidráulica utilizada para a execução do ensaio de resistência à compressão uniaxial.	25
Figura 16 - Planos teóricos de rutura das amostras durante o ensaio de resistência à compressão uniaxial (Fonte: Costa, 2007)	26
Figura 17 - Realização do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada	27
Figura 18 - Equipamento utilizado para a medição da velocidade de propagação de ultrassons	28
Figura 19 - Esquema do ensaio de desgaste com máquina de Capon	29

Figura 20 - Esquema frontal da calote produzida num provete submetido ao ensaio de desgaste com máquina de Capon.....	30
Figura 21 - Esquema dos provetes para o ensaio de resistência à ancoragem. (Fonte: NP EN 13364:2006)	31
Figura 22 - Equipamento utilizado no ensaio da resistência à ancoragem.....	31
Figura 23 - Rutura do orifício de ancoragem.	32
Figura 24 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à rutura .	33
Figura 25 - Provetes imersos em água destilada.....	34
Figura 26 - Montagem dos extratores de Soxhlets para realização do ensaio de lixiviação.	38
Figura 27 - Esquema do extrator de Soxhlet	39
Figura 28 - Esquema da preparação do ensaio	40
Figura 29 - Esquema da incidência do feixe primário e as diversas energias emitidas pela amostra (Maliska, 2013)	42
Figura 30 - Esquema da composição de um espectrómetro de raios-X (Fonte: Pinho, 2003).....	43
Figura 31 - Esquema de um espectrofotómetro de absorção atómica (Galhano, 1999...)	44
Figura 32 - Esquema da localização geográfica de Mafra relativamente ao território nacional continental (A), delimitação do concelho de Mafra (B) (<i>Google</i> , 2016) e afloramentos do traquito em estudo (C).	45
Figura 33 - Definição da área de estudo no <i>SketchUp</i> , através de imagem de satélite (<i>Google</i> , 2016).....	46
Figura 34 - Curvas de nível equidistantes 20 metros, da região selecionada anteriormente (<i>SketchUp</i> , 2016)	46
Figura 35 - Perfil topográfico segundo a linha vermelha horizontal da imagem anterior e localização dos afloramentos de traquito a cinzento (<i>Google</i> , 2016).....	47
Figura 36 - Excerto da Carta Geológica 34-A, Sintra (Ramalho <i>et al.</i> , 2005).	48
Figura 37 - Geologia da área de estudo com indicação do local da amostragem (Ramalho <i>et al.</i> , 2005)	49
Figura 38 - Localização geográfica do perfil geoelétrico realizado (<i>Google</i> , 2016).....	51
Figura 39 - Localização do perfil relativamente à geologia da região (Ramalho <i>et al.</i> , 2005).....	51

Figura 40 - Ligação do elétron ao cabo numa das estações.....	52
Figura 41 - Resistivímetro durante a realização do ensaio	52
Figura 42 - Perfil de resistividade elétrica.....	54
Figura 43 - Localização da rocha em estudo, segundo a análise petrográfica, no diagrama de Streckeisen (1976). (Adaptado de Le Maitre, 1989).....	56
Figura 44 - Aspectos macroscópicos do traquito: a e b correspondem ao traquito “são”; c e d correspondem ao traquito “alterado”; e corresponde ao traquito “mula”	57
Figura 45 - Aspectos petrográficos do TS, em nicóis // à esquerda e X à direita. FK: Feldspato potássico;.....	58
Figura 46 - Aspectos petrográficos do TM com calcite, em nicóis // à esquerda e X à direita.....	59
Figura 47 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TS. FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola	60
Figura 48 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TA. FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola	60
Figura 49 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TM. FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola; C: Calcite..	61
Figura 50 - Placa de traquito com variação de TA para TS (da esquerda para a direita), em cima a seco e em baixo húmido.....	63
Figura 51 - Gráfico da variação de absorção de água à pressão atmosférica para as três variedades de traquito e comparação com valores tabelados	65
Figura 52 - Gráfico da variação de porosidade aberta para as três variedades de traquito e comparação com valores tabelados.....	65
Figura 53 - Curvas de absorção de água por capilaridade para os doze provetes de TS	66
Figura 54 - Troço reto da curva de absorção de água por capilaridade, correspondendo às primeiras sete medições do provete 1	66
Figura 55 - Gráfico da resistência à compressão uniaxial obtida para o TS e comparação com valores tabelados.....	68
Figura 56 - Gráfico da resistência à flexão sob carga centrada obtida para o TS e comparação com valores tabelados	69
Figura 57 - Amostra antes do ensaio (à esquerda) e após os 60 ciclos térmicos (à direita)	73

Figura 58 – Variação absoluta e acumulada da perda de peso dos provetes ao longo dos ciclos do ensaio de resistência ao nevoeiro salino.....	74
Figura 59 - Variação absoluta da absorção de água e porosidade aberta dos provetes ao longo dos ciclos do ensaio de nevoeiro salino.....	74
Figura 60 - Gráfico da variação da resistência à compressão uniaxial do TS após ensaio de nevoeiro salino e comparação com valores tabelados	75
Figura 61 - Amostras de traquito antes (esquerda) e após (direita) o ensaio de nevoeiro salino.....	76
Figura 62 – Variação absoluta do peso dos provetes de traquito ao longo do ensaio de cristalização de sais	76
Figura 63 - Gráfico da variação da resistência à compressão uniaxial do TS após ensaio de resistência à cristalização de sais e comparação com valores tabelados	77
Figura 64 - Amostras de traquito antes (esquerda) e após (direita) o ensaio de resistência à cristalização de sais.....	78
Figura 65 – Variação absoluta de peso das amostras de traquito ao longo dos ciclos de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet.	78
Figura 66 - Amostras de TM antes (esquerda) e após (direita) os cinco ciclos de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet	79
Figura 67 - Amostra de traquito à lupa binocular após ataque com ácido sulfúrico (à esquerda) e ácido clorídrico (à direita)	80
Figura 68 - Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido sulfúrico (à direita), em nicóis X.....	81
Figura 69 - Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido clorídrico (à direita), em nicóis X.....	81
Figura 70 - Amostra de traquito após ataque com ácido nítrico.....	81
Figura 71 - Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido nítrico (à direita), em nicóis X.....	82
Figura 72 – Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido etanoico (à direita), em nicóis X.....	82
Figura 73 - Amostra de traquito após ataque com hidróxido de potássio (à esquerda) e com hipoclorito de sódio (à direita).....	83

Figura 74 - Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com hidróxido de potássio (à direita), em nicóis X	83
Figura 75 - Aspectos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com hipoclorito de sódio (à direita), em nicóis X.....	83
Figura 76 - Aspecto geral das amostras de traquito após ataque com reagentes químicos	84
Figura 77 - Classificação química do TS segundo Le Bas <i>et al.</i> (1986) (Adaptado de Gomes, 1997)	85
Figura 78 - Variação do pH dos lixiviados ao longo dos ciclos	86
Figura 79 - Variação de condutividade dos lixiviados ao longo dos ciclos	87
Figura 80 – Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de potássio ao longo dos ciclos	87
Figura 81 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de ferro ao longo dos ciclos.....	88
Figura 82 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de sódio ao longo dos ciclos	88
Figura 83 – Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de cálcio ao longo dos ciclos	88
Figura 84 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de magnésio ao longo dos ciclos	89
Figura 85 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de alumínio ao longo dos ciclos	89
Figura 86 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de silício ao longo dos ciclos.....	89

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Percentagem em sílica de diferentes traquitos estudados.....	12
Tabela 2 - Síntese da importância de alguns dos ensaios físico mecânicos face às aplicações mais comuns das pedras naturais na construção civil (Fonte: Moura, 2000). *Apenas em exteriores. ** Importância A quando colocadas em rodapés..	14
Tabela 3 - Dados referentes aos ensaios realizados. P.I.: Procedimento interno	16
Tabela 4 - Parâmetros a considerar na análise petrográfica	18
Tabela 5 - Códigos de avaliações das oxidações	35
Tabela 6 - Reagentes químicos utilizados, suas concentrações e simulação pretendida	41
Tabela 7 - Síntese dos parâmetros petrográficos	56
Tabela 8 - Variações cromáticas médias dos traquitos. Branco: $L^*=93,99$; $a^*=0,06$; $b^*=3,38$	62
Tabela 9 - Resultados dos ensaios físicos para as três variedades de traquito e média dos valores tabelados. Ab = Absorção de água à pressão atmosférica, Ma = Massa volúmica aparente, PA = Porosidade aberta.....	64
Tabela 10 - Resultados do coeficiente de correlação e absorção de água por capilaridade para os 12 provetes ensaiados, tendo em conta apenas as primeiras sete medições e média dos valores tabelados	67
Tabela 11 - Resultados da resistência à compressão uniaxial para os 10 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados	67
Tabela 12 - Resultados da resistência à flexão sob carga centrada para os 18 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados	68
Tabela 13 - Resultados da velocidade de propagação de ultrassons em 8 provetes ensaiados.....	69
Tabela 14 - Resultados da perda de peso percentual, velocidade de propagação do ultrassons e resistência à compressão uniaxial, em 12 provetes para o ensaio de resistência ao gelo-degelo e a média dos valores tabelados.	70
Tabela 15 - Resultados da resistência ao desgaste com máquina de Capon para os 6 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados.....	71
Tabela 16 - Resultados da resistência à ancoragem para os 4 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados	72

Tabela 17 - Resultados da resistência à rutura para os 7 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados	72
Tabela 18 – Perda de peso percentual das amostras e variação das suas dimensões em resultado dos ciclos térmicos.....	73
Tabela 19 - Resultados da velocidade de propagação de ultrassons e resistência à compressão uniaxial, nos 11 provetes para o ensaio de resistência ao nevoeiro salino e a média dos valores tabelados.	75
Tabela 20 - Resultados da variação de peso percentual, velocidade de propagação de ultrassons e resistência à compressão uniaxial, nos 4 provetes para o ensaio de resistência à cristalização de sais e a média dos valores tabelados	77
Tabela 21 - Resultados da perda de peso percentual das amostras e total de material filtrado do lixiviado, no final do ensaio de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet.	79
Tabela 22 - Valores médios da perda de peso percentual dos provetes para cada um dos reagentes	80
Tabela 23 - Sugestões de aplicação do traquito segundo as utilizações mais comuns das rochas ornamentais. (✓ : Aconselha-se a aplicação; ✕: Não se aconselha a aplicação; ✓ *: Aconselha-se a sua aplicação apenas em interiores).....	93

1 Introdução

A pedra natural é um material natural cujas características físicas, químicas, mecânicas, estéticas e de durabilidade são aproveitadas para a diversos fins, tal como na construção civil, arquitetura e decoração. As rochas começaram a ser utilizadas pelo Homem desde muito cedo, como instrumento de trabalho e caça e que ainda hoje são encontradas em diversas descobertas arqueológicas. Atualmente, entre muitas outras aplicações, a pedra natural é utilizada como material de revestimento de edifícios, contrariamente ao que acontecia nos séculos passados, onde as estruturas das edificações eram feitas à base de blocos de pedra maciços, como aconteceu na antiguidade clássica, na construção de pontes e colunas. É um recurso não renovável que deve ser alvo de um estudo alargado, de modo a conhecer as suas características e comportamento, permitindo que esta tenha uma finalidade adequada.

O material objeto deste estudo trata-se de um traquito, pertencente ao Complexo Vulcânico de Lisboa, com afloramentos na região de Mafra, mais concretamente na aldeia da Lage.

O principal objetivo desta investigação é a identificação e caracterização tecnológica da rocha, com o intuito de testar a sua potencialidade no setor das rochas ornamentais, acompanhado pelo estudo de alteração, permitindo a observação e a previsão do seu comportamento quando sujeita à ação de diversos fatores que simulem as condições a que podem estar sujeitas. Os ensaios são realizados em laboratórios, que de um modo acelerado reproduzem as condições impostas à rocha em obra.

O estudo teve início com uma proposta feita pela empresa de transformação, Granitos da Maceira S.A., que se interessou pela beleza natural da rocha. Inicialmente realizou-se pesquisa de informação através da carta geológica, notícia explicativa correspondente e bibliografia relacionada, para identificação do maciço. Posteriormente procedeu-se ao reconhecimento de campo, com seleção das áreas com potencial interesse e realização de desmonte, com recurso a explosivos, para se proceder à amostragem. Mais tarde realizou-se prospeção geofísica, nomeadamente geolétrica, para determinar as dimensões do maciço em profundidade.

Para realizar este trabalho foi necessário o apoio de empresas e instituições que estivessem dispostas a colaborar com o projeto e que disponibilizassem os equipamentos apropriados para os ensaios. Assim, o Laboratório Nacional de Energia e Geologia

1. Introdução

(LNEG) - Pólo de São Mamede de Infesta, a Frontwave - Stone Technology, o Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (UA), o Departamento de Engenharia Civil (DEC) e de Ciências da Terra (DCT) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), participaram na realização deste trabalho de investigação.

Os ensaios realizados para o estudo da rocha consistiram na caracterização petrográfica, físico-mecânica, química, mineralógica e sua alterabilidade, incluindo:

- Análise de lâminas delgadas ao microscópio;
- Análise da cor;
- Massa volúmica aparente, porosidade aberta, absorção de água, coeficiente de absorção de água por capilaridade;
- Resistência: à compressão uniaxial, à flexão sob carga centrada, ao gelo, ao desgaste por abrasão, às ancoragens, ao choque, nevoeiro salino, à cristalização de sais, ataques com agentes químicos;
- Determinação da velocidade de propagação de ultrassons;
- Sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos;
- Difração e fluorescência de raios-X;
- Absorção atómica;
- Lixiviação contínua com extrator Soxhlet.

Estes ensaios foram executados, sempre que possível, segundo as normas correspondentes em vigor. Em alguns casos foram realizadas adaptações por questões de quantidade de material, de tempo e de acréscimo de valor, uma vez que o que se pretende é conhecer melhor o material e o seu comportamento. Deste modo, os ensaios realizados tentam abranger os requisitos necessários às diferentes aplicações para concluir qual a sua melhor função, como aplicações em lajes e guias para pavimentos exteriores, placas para revestimento de paredes, placas para pavimentos e degraus, cobertura e revestimentos, entre outras.

Este material ainda não foi alvo de qualquer estudo, por isso foi necessário encontrar formações semelhantes, que já tenham sido exploradas ou estudadas e com as

1. Introdução

quais se possam fazer comparações, como é o caso da região autónoma da Madeira e dos Açores. Assim é possível identificar as restrições e as melhores aplicações a que o material se propõe, prevenindo que depois de ser aplicado em obra ocorram acidentes ou situações inesperadas. Esta investigação proporciona o aumento do conhecimento geológico da região e no setor da exploração e indústria das rochas ornamentais, pela disponibilização de dados que mais tarde poderão ser tidos em conta.

O trabalho divide-se ao longo de um total de sete capítulos, onde inicialmente é feita uma breve definição das rochas ornamentais, o atual mercado nacional e a classificação das rochas vulcânicas. Seguem-se os materiais utilizados, incluindo a rocha em estudo, a sua classificação segundo a bibliografia e a descrição dos ensaios realizados. O caso de estudo é abordado segundo o enquadramento geográfico e geológico da região, onde se encontra também a prospeção geofísica. Os resultados experimentais estendem-se ao longo de seis subcapítulos, divididos conforme o tipo de ensaio realizado. Por fim são feitas as considerações finais, onde se encontram as sugestões de utilização da rocha.

2 Rochas ornamentais

No Paleolítico, há cerca de 2 milhões de anos, a pedra começou a ser utilizada como matéria-prima de utensílios e monumentos de culto, cujos testemunhos ainda se encontram preservados até aos dias de hoje. Esta tem satisfeito as necessidades básicas impostas às diferentes gerações, permanecendo ainda alguns testemunhos pré-históricos (Moura, 2000). Os Romanos construíam pontes, calçadas e monumentos em pedra natural que ainda hoje podem ser contemplados. Na antiguidade clássica estas construções envolviam a utilização de blocos de pedras maciças consoante a disponibilidade, sendo o único elemento estrutural dessas construções. Na região em estudo pode observar-se uma construção de grandes dimensões, o Palácio Nacional e Convento de Mafra (Fig. 1), do séc. XVIII, com recurso a rochas existentes na região, como o calcário de Lioz, que servem tanto como elemento estrutural, como ornamental.



Figura 1 – Convento/Palácio Nacional de Mafra

Atualmente e devido ao elevado valor económico e ambiental deste recurso, as rochas são maioritariamente usadas como materiais de revestimento, sendo utilizados outros materiais para a estrutura das edificações. Deste modo, deve ter-se em atenção na utilização da pedra em construções, pois é necessário considerar questões funcionais, estéticas, económicas, técnicas, históricas e ambientais, permitindo uma correta utilização do recurso, tendo consciência da sua disponibilidade, extração, transporte, transformação e aplicação (Pinto *et al.*, 2006).

2. Rochas ornamentais

Além das placagens de paredes e pisos, placas para pavimentos interiores e exteriores e revestimento de degraus, as aplicações das rochas incluem ainda produtos em pedra maciça, como bancos de jardim, muros, calçada, colunas, elementos decorativos (alvenarias e cantarias) (Moura, 2000).

Os fatores essenciais para a exploração da rocha ornamental consistem na sua homogeneidade de tonalidade e textura, na fracturação do maciço e zonas de acessos sem condicionalismos legais (Ramos & Moura, 2010).

As etapas pelas quais a rocha ornamental passa constituem um processo que abrange a extração da pedreira, transformação com corte, dimensionamento e acabamento, comercialização e aplicação. A escolha do acabamento deve ter em conta a futura utilização, considerando que para as seguintes superfícies devem-se utilizar os acabamentos correspondentes (Pinto *et al.*, 2006):

- Superfícies irregulares e rugosas: Bujardado, serrado, cortado, escassilhado;
- Superfícies irregulares e macias: Flamejado;
- Superfícies lisas e brilhantes: Polido;
- Superfícies lisas e mate: Amaciado;
- Superfícies regulares, finas e homogêneas: Areado.

A interação da rocha com o meio pode levar a incompatibilidades derivado do uso inadequado, pois esta está sujeita a diferentes ações que podem levar à sua degradação, através de fatores como (Aires-Barros, 1991):

- Fatores próprios da rocha (reações químicas);
- Fatores externos (degradação devido ao clima);
- Fatores impostos (variação da geometria e/ou acabamento);
- Fatores antropológicos (produzidos diretamente pelo Homem, como o vandalismo).

O setor das rochas ornamentais utiliza termos comerciais em detrimento das classificações geológicas, o que por vezes gera alguma dificuldade na comunicação. Atualmente dividem-se nos seguintes grandes grupos: Granitos, Mármore, Calcários, Ardósias ou Xistos. Comercialmente, a designação granito inclui todas as rochas feldspáticas com grão visível, incluindo o granito, gabro, sienito, traquito, anortosito, gnaisse, entre outros (Moura & Velho, 2011).

2.1 Estudo de mercado

Em Portugal, as diferentes variedades de rocha encontram-se distribuídas pelo território e constituem um setor muito importante para a economia, com a sua extração, comercialização e exportação.

Segundo dados estatísticos da Direção Geral de Energia e Geologia, em 2015 foram explorados cerca de 3 milhões de toneladas de rocha ornamental, incluindo ardósias, granitos ornamentais e rochas similares, mármore e calcários, pedra para calcetamento e pedra rústica, o que resultou numa receita de cerca de 150 milhões de euros, sendo cerca de 35% correspondentes aos granitos ornamentais e rochas similares. Este valor sofreu um decréscimo de cerca de 6% relativamente ao ano de 2014, tal mostram os gráficos das figuras seguintes.

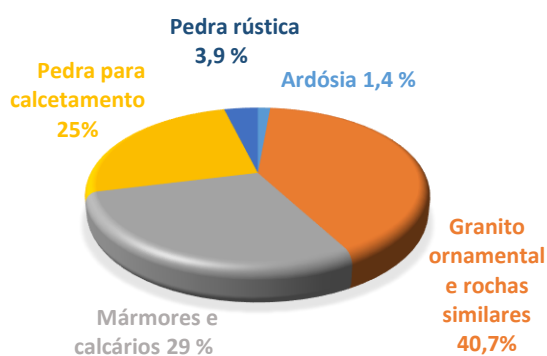


Figura 2 – Gráfico das rochas ornamentais exploradas em Portugal continental no ano 2014
(Fonte: DGEG 2014)

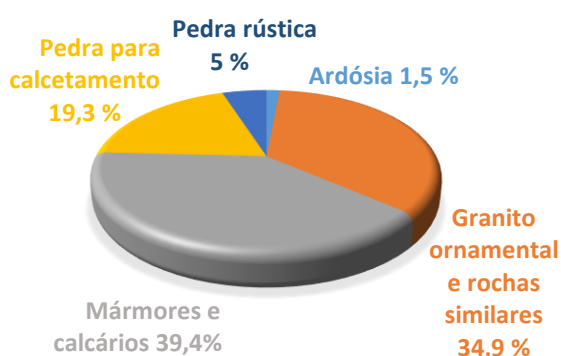


Figura 3 – Gráfico das rochas ornamentais exploradas em Portugal continental no ano 2015
(Fonte: DGEG 2015)

Relativamente à exportação de rochas ornamentais, em Portugal a tendência tem vindo a ser crescente, perfazendo o valor de 378 milhões de euros em 2015 (Fig. 4). Os principais destinos são: França, China, Espanha, Arábia Saudita, Reino Unido, EUA e Alemanha. Deste valor, 24% corresponde à exportação de granito e rochas similares.

2. Rochas ornamentais

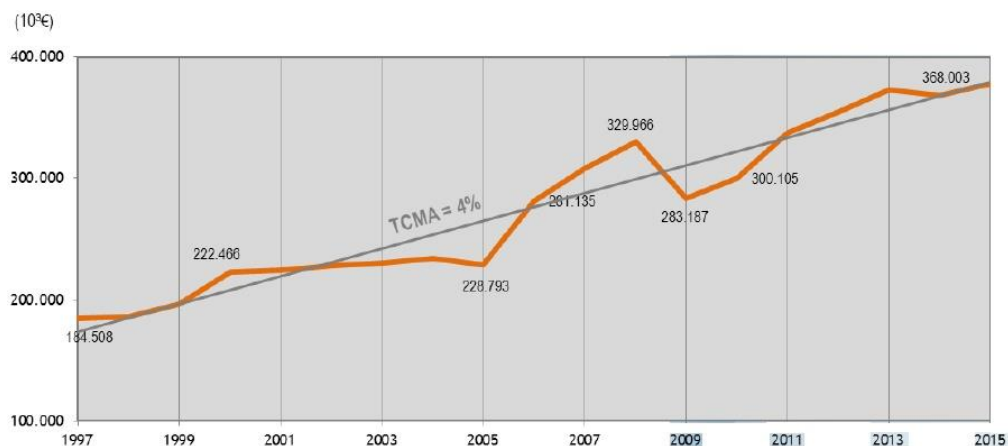


Figura 4 – Evolução das exportações de rochas ornamentais em Portugal (1997-2015).

TMA: Taxa de crescimento médio anual. Fonte: DGEG 2015

Pelo contrário, as importações em Portugal têm vindo a sofrer um decréscimo ao longo dos anos (Fig. 5), perfazendo o valor de 47 milhões de euros em 2015. Deste valor 63% correspondem à importação de granitos e rochas similares, o que indica que a procura por esta variedade é a que mais se destaca.

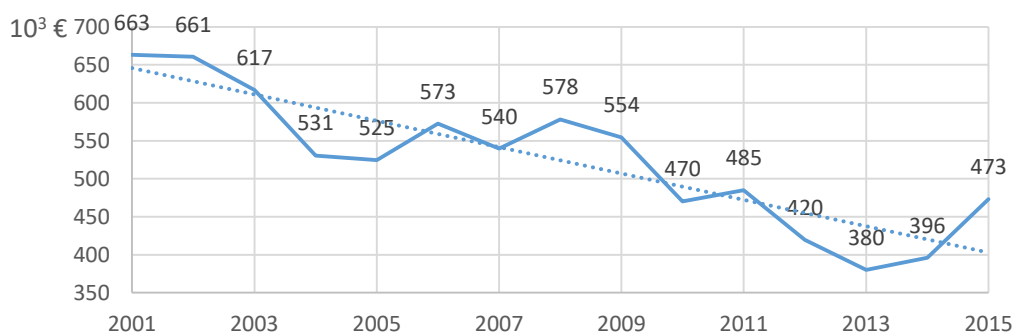


Figura 5 – Evolução das importações de rochas ornamentais em Portugal (2001-2015).

Fonte: DGEG 2015

Estes dois fatores permitem concluir que a comercialização das rochas ornamentais em Portugal representa um setor importante na economia nacional, principalmente com o contributo das rochas ígneas.

As rochas vulcânicas não têm sido aproveitadas como rochas ornamentais no território continental. O mesmo não acontece na região autónoma dos Açores e da Madeira, cuja origem vulcânica e de composição variada, proporcionou uma arquitetura distinta. Aqui as rochas exploradas recebem uma denominação comercial de cantaria

mole e rija, sendo que a primeira engloba tufos de lapili e brechas piroclásticas e a segunda corresponde aos traquibasaltos, traquiandesito basáltico, traquiandesito, andesito e traquito (Gomes & Silva, 1997).

Segundo Caetano (2007 *in* LREC, 2013), o traquito explorado na região autónoma dos Açores teve como finalidade a produção de betões, obras litorais e portuárias, arquitetura urbana e utilização ornamental ou decorativa. As Câmaras Municipais de Angra do Heroísmo e de Ponta Delgada encontram-se revestidas pelo traquito da região. Atualmente, o traquito é apenas explorado e comercializado na ilha Terceira e tem como finalidade a produção de agregados.

2.2 Classificação das rochas vulcânicas

A petrologia é o ramo da ciência dedicada à origem das rochas, modo de formação e evolução, através do estudo da sua constituição, o que permite a sua descrição e classificação.

Consideram-se rochas magmáticas ou ígneas todas as rochas formadas através da solidificação do magma. Caso este processo ocorra à superfície classificam-se como rochas vulcânicas/extrusivas, próximo da superfície como rochas hipabissais e em profundidade como rochas intrusivas/plutónicas.

A textura das rochas depende de fatores como a velocidades de arrefecimento do magma, a sua viscosidade e composição química e compreende vários parâmetros como dimensão do grão, forma, cor, etc.

A classificação das rochas vulcânicas é realizada em função da natureza dos minerais e da composição química. Segundo a International Union of Geological Science (IUGS), um dos sistemas de classificações baseia-se na composição mineralógica, expressa em proporções dos minerais por volume (moda), utilizando a classificação de Streckeisen (1976), através do diagrama da figura 6 (Gomes & Silva, 1997).

O outro sistema de classificação de Le Bas *et al.* (1986) é baseada na razão entre o total de alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), sílica (SiO_2) e percentagem de peso, método adotado pela IUGS (Fig. 7). Esta classificação permite atribuir designação a rochas com textura afanítica e vítrea (Gomes & Silva, 1997).

Os campos onde se encontram os traquitos estão assinalado nas figuras 6 e 7.

2. Rochas ornamentais

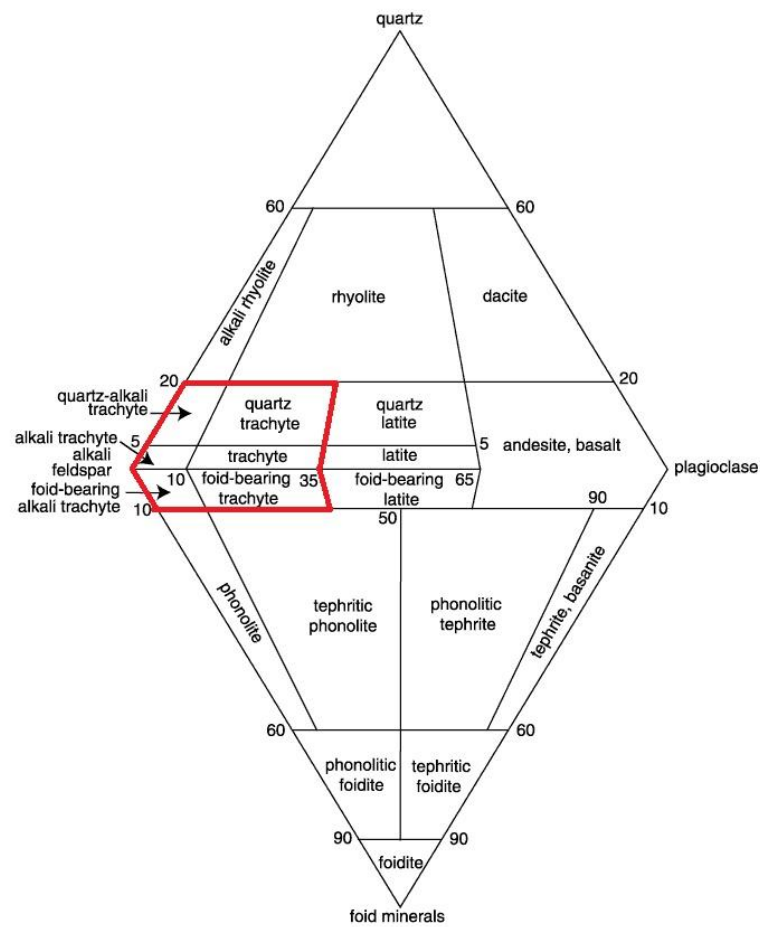


Figura 6 - Classificação das rochas vulcânicas de acordo com a composição modal, segundo Streckeisen (1976) (adaptado de Le Maitre, 1989).

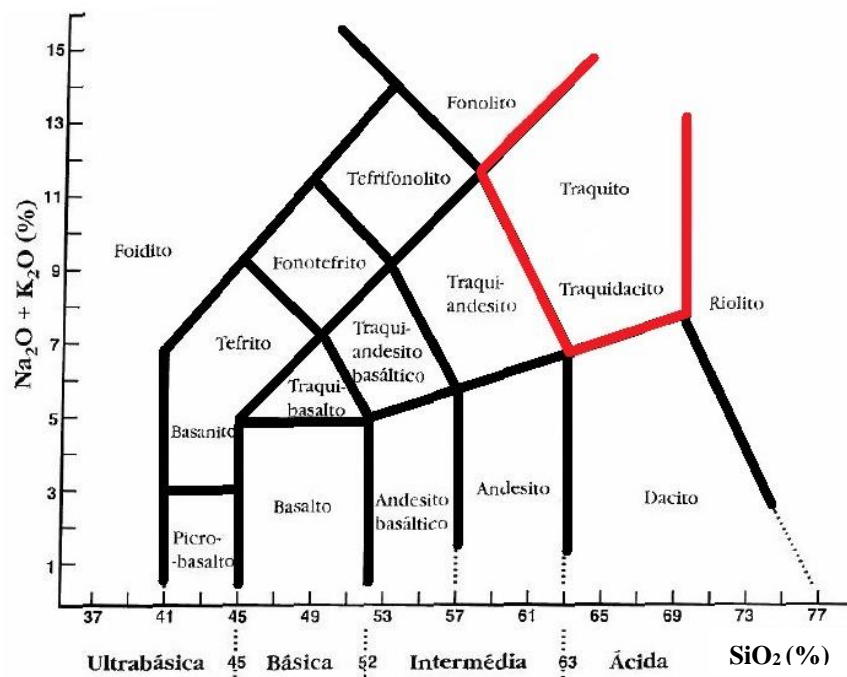


Figura 7 - Classificação química das rochas vulcânicas segundo Le Bas et al. (1986). (Adaptado de Gomes & Silva, 1997).

3 Materiais e métodos

Para este estudo foram realizadas atividades de gabinete, campo e de laboratório de forma a proceder à identificação e caracterização do material de acordo com os objetivos propostos.

Numa primeira fase a pesquisa bibliográfica foi orientada para os aspetos geológicos da região em estudo e da variedade da rocha. Em seguida foram selecionados os ensaios a executar, tendo-se, sempre que possível, seguido os procedimentos das normas europeias em vigor, segundo o IPQ (Instituto Português da Qualidade), em 2016.

Na observação da rocha e na sua caracterização petrográfica foi utilizada uma lupa binocular *Olympus SZ61*, o microscópio *Olympus BX51*. Para registo dos resultados utilizou-se a câmara fotográfica *Olympus SP500UZ*.

3.1 Traquito

Segundo Brogniart (1813 *in* Carvalho, 2002), o nome traquito radica do grego *trachys*, que significa áspero. Genericamente é classificada como uma rocha vulcânica alcalina, de cor acinzentada e porosa, comum em filões e escoadas formadas por erupções efusivas, o que lhe confere uma textura característica, denominada de traquítica ou fluidal, devido ao alinhamento dos minerais, podendo variar consoante a saturação em sílica (*ibidem*).

Corresponde ao equivalente vulcânico microgranular e/ou vítreo do sienito. São menos abundantes que os basaltos e riólitos, sendo provenientes do arrefecimento dos magmas secundários (Hall, 1987). Inúmeros estudos em rochas ígneas indicam uma relação entre os traquitos e os basaltos olivínicos, através de processos de diferenciação magmática de um magma primário olivínico, na presença de água (Hess, 1989).

Tipicamente apresentam fenocristais de feldspato alcalino (sanidina) e/ou anortoclase e os constituintes ferromagnesianos podem ser augite, biotite, hornblenda e a matriz é holocristalina, ou seja, composta por cristais de feldspato alcalino e uma menor quantidade de minerais ferromagnesianos que apresentam um arranjo segundo o fluxo de escorrência (Nockolds *et al.*, 1978).

3. Materiais e métodos

De acordo com as diversas composições químicas de traquitos estudados (ver tabela 1), no que diz respeito à sua percentagem em sílica, estas rochas são classificadas como intermédias e ácidas. Isto indica que toda a sílica presente está contida nos feldspatos e outros silicatos (micas, anfíbolos, piroxenas) e, conseqüentemente, não contem quartzo. (Carvalho, 2002).

Em Portugal são descritos em filões associados ao maciço de Sintra, ao lacólito de Montemor e outras pequenas ocorrências pertencentes ao Complexo Vulcânico de Lisboa, em Alvarinho-Odrinhas, Lexim-Laje, Malveira. Também na região autónoma da Madeira e Açores há registos de diques imponentes (*ibidem*).

Tabela 1 - Percentagem em sílica de diferentes traquitos estudados.

Autor	Origem	% SiO₂
Ramalho <i>et al.</i> , 1993	Complexo Vulcânico de Lisboa	61,17
Hess, 1989	Rift do Quênia	61,10
Medeiros <i>et al.</i> , 2012	Terceira, Açores	64,79
Gomes & Silva, 1997	Porto Santo, Madeira	63,72
Brak-Lamy, 1945	Montemor (Caneças)	60,37
Sparks & Wadge, 1976	Cabo da Roca, Sintra	65,00

Em Portugal, o traquito é explorado nos arquipélagos dos Açores e Madeira como rocha ornamental, onde é denominada por cantaria rija. Na ilha de Porto Santo existiu uma exploração de traquito que foi utilizado em revestimentos, pavimentos e ornamentação de portas e janelas (Gomes, 1997). Atualmente, nos Açores é utilizado na produção de agregados.

O traquito estudado neste trabalho apresenta três variedades, cujas composições mineralógicas são semelhantes mas que apresentam variações texturais e de cor. Assim, adotou-se a seguinte classificação:

- Traquito “são” (TS);
- Traquito “alterado” (TA);
- Traquito “mula” (TM).

Na figura 8 é possível identificar as três variedades de traquito referidas anteriormente, numa porção de rocha detonada do maciço em estudo.



Figura 8 – Porção de traquito detonado do maciço apresentando as três variedades em estudo.

TS: Traquito São; TA: Traquito Alterado; TM: Traquito Mula.

A cinzento claro encontra-se o TS, a castanho/amarelado encontra-se o TA e a cinzento mais escuro o TM. O traquito “alterado” aparece em zonas mais superficiais do maciço, junta a fraturas e/ou outras descontinuidades expostas, sendo resultado de processos de alteração, enquanto o traquito “são” aparece em zonas mais internas do maciço. O traquito “mula” aparenta aparecer no maciço de forma aleatória, em massas esféricas, alterando o padrão típico do traquito.

3.2 Ensaaios

Efetuaram-se diversos ensaios físico-mecânicos do tipo inicial, conforme os sugeridos pelo CEVALOR. Segundo Rebola (2011), estes ensaios permitem que os produtos garantam conformidade segundo um conjunto de obrigações comuns a todos os Estados Membros, sendo estas as bases para a implementação da marcação CE, nos produtos de construção. Além dos ensaios iniciais, é necessário a implementação do sistema de controlo de fábrica e ensaios de controlo de produção.

3. Materiais e métodos

Existem normas europeias (EN), características dos produtos e caso se encontrem em vigor, são as adequadas a seguir quando a intenção é certificar o produto para ser comercializado. Os ensaios devem ser realizados quando a norma é aplicada pela primeira vez, no início de produção de um novo tipo de rocha ou quando ocorrem alterações significativas da matéria-prima (Rebola, 2011).

A tabela seguinte serviu de base para a seleção dos ensaios a executar neste estudo. Esta apresenta os parâmetros a serem analisados nas diversas aplicações da pedra natural na construção civil, classificando-as por ordem decrescente de importância (A,B,C).

Tabela 2 - Síntese da importância de alguns dos ensaios físico mecânicos face às aplicações mais comuns das pedras naturais na construção civil (Fonte: Moura, 2000). *Apenas em exteriores. ** Importância A quando colocadas em rodapés

Ensaio	Revestimentos exteriores	Revestimentos interiores	Pavimentos exteriores	Pavimentos interiores	Placas em consola ou apoiadas	Colunas e pilares
Massa volumica aparente	B	B	B	B	B	B
Absorção de água / Porosidade aberta	B	C	B	C	C	B*
Resistência à compressão simples	B	C	B	C	B	A
Resistência à flexão	B	C	B	B	A	
Módulo de Elasticidade	A		B		A	
Resistência às ancoragens	A	C				
Teste gelo-degelo	A		A		A*	A*
Coefficiente de dilatação térmica linear	A		B			A
Resistência ao desgaste	C		A	B	B	
Resistência ao choque	C**	C**	A	B	A	

Para cada uma das aplicações referidas existem especificações que referem as características geométricas dos produtos acabados, através de tolerâncias nas dimensões (espessuras, comprimento e largura), desvios, rugosidades e espessuras. Existem também especificações, com base em documentos normativos que apresentam os intervalos de valor para cada ensaio, consoante a aplicação da rocha (Moura, 2000).

Dos ensaios indicados na tabela 2, não foi possível realizar o módulo de elasticidade nem o coeficiente de dilatação térmica linear.

3. Materiais e métodos

Além destes ensaios, realizou-se uma caracterização petrográfica da rocha, com vista à sua identificação e análises mineralógica e química, para confirmação dos resultados. A variação de cor entre os traquitos foi analisada através de uma medição numérica estabelecida, visto este ser um parâmetro importante na altura da escolha do material. Realizaram-se também ensaios de absorção de água por capilaridade, ensaios de sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos e velocidade de ultrassons. Por fim, executaram-se ensaios de alteração de modo a simular, de forma acelerada, o comportamento das rochas em ambientes idênticos, tais como, resistência ao nevoeiro salino, resistência à cristalização de sais, ataque com reagentes químicos e lixiviação por Soxhlet.

Na tabela 3 estão registados os ensaios de identificação, caracterização físico mecânica, químicos e de alteração utilizados no estudo do traquito, com as respetivas normas, dimensões, quantidades de material e local da realização dos ensaios.

3. Materiais e métodos

Tabela 3 - Dados referentes aos ensaios realizados na rocha em estudo.

P.I.: Procedimento interno. TS: Traquito “São”. TA: Traquito “alterado”. TM: Traquito “mula”.

Ensaio	Norma	Provetes (mm)	Quantidades	Local
Caracterização Petrográfica	NP EN 12407:2008	Lâminas Delgadas	10 (TS) 10 (TA) 5 (TM)	FCT/UNL DCT
Difração de Raios-X	P.I.	Amostra moída	1 (TS) 1 (TA) 1 (TM)	UA
Análise da cor	P.I.	Amostra sólida e moída	12 (TS) 12 (TA)	FCT/UNL DCT
Absorção de água à pressão atmosférica	P. I. com base na NP EN 13755:2008	50*50*50	24 (TS)	FCT/UNL DCT
Massa volúmica aparente e porosidade aberta	P. I. com base na NP EN 1936:2008	50*50*50	24 (TS)	FCT/UNL DCT
Coefficiente de absorção de água por capilaridade	NP EN 1925:2000	50*50*50	12 (TS)	FCT/UNL DCT
Resistência à compressão uniaxial	NP EN 1926:2008	50*50*50	10 (TS)	FCT/UNL DEC
Resistência à flexão sob carga centrada	NP EN 12372:2008	50*50*300	18 (TS)	Frontwave
Velocidade de propagação de ultrassons	NP EN 14579:2007	50*50*50	8 (TS)	FCT/UNL DEC
Resistência ao gelo	P. I. com base na NP EN 12371:2010	50*50*50	12 (TS)	FCT/UNL DCT
Resistência ao desgaste	NP EN 14157:2007	100*100*30	6 (TS)	LNEG - São Mamede Infesta
Resistência à ancoragem	NP EN 13364:2006	200*200*30	4 (TS)	LNEG - São Mamede Infesta
Resistência ao choque	NP EN 14158:2005	200*200*30	7 (TS)	Frontwave
Sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos	P. I. com base na NP EN 16140:2013	50*50*10	9 (TS)	FCT/UNL DCT
Resistência ao nevoeiro salino	P. I. com base na NP EN 14147:2007	50*50*50	11 (TS)	FCT/UNL DEC
Resistência à cristalização de sais	NP EN 12370:2001	50*50*50	4 (TS)	FCT/UNL DCT
Lixiviação por Soxhlet	P.I.	Amostra sólida	1 (TS) 1 (TA) 1 (TM)	FCT/UNL DCT
Ataques com reagentes químicos	P.I.	50*50*25	18 (TS)	FCT/UNL DCT
Microscópio Eletrónico de Varrimento	P.I.	Amostra sólida	1 (TS)	FCT/UNL DCT
Fluorescência de Raios-X	P.I.	Amostra moída	1 (TS)	UA

3.2.1 Caracterização petrográfica

A descrição petrográfica da pedra natural é importante para a sua classificação e avaliar o seu comportamento químico, físico e mecânico. Portanto é necessário caracterizar a pedra do ponto de vista da sua composição mineralógica, textura, cor, presença de veios, etc.. Para tal deve-se realizar uma descrição macroscópica e em seguida preparar lâminas delgadas para serem examinadas no microscópio petrográfico de modo a identificar os minerais.

As lâminas delgadas foram elaboradas recorrendo a taliscas de rocha das três variedades de traquito em estudo. As taliscas foram polidas (Fig. 9), coladas em lâminas de vidro e novamente polidas até ser possível identificar os minerais constituintes ao microscópio (espessura de 0,03 mm).



Figura 9 - Polimento das taliscas de traquito durante a elaboração das lâminas delgadas

Segundo a norma NP EN 12407:2008, este procedimento inclui o estudo dos constituintes minerais ao microscópio petrográfico, permitindo a interpretação da génese da rocha, a sua alteração e classificação. Para a classificação final é realizada uma quantificação dos minerais, de forma a obter a classificação modal a utilizar no diagrama de Streckeisen, 1976, para as rochas vulcânicas. Na tabela seguinte são descritos os parâmetros a ter em conta na caracterização petrográfica

Tabela 4 - Parâmetros a considerar na análise petrográfica

Grau de cristalinidade	Holocristalino (cristais)		
	Hipocristalino (cristais + matéria vítrea)		
Dimensão do grão	Hialino (matéria vítrea)		
	Textura fanerítica	Porfiróide	Grão fino, médio ou grosseiro
Forma dos minerais	Textura afanítica	Porfiritica	Fenocristais
	Textura vítrea	Vitrofirica	
Cor	Euédricos (contorno perfeito)		
	Subédricos (contorno imperfeito)		
Cor	Anédricos (contorno irregular)		
	Minerais félsicos (claros)		Leucocratas
Cor	Minerais máficos (escuros)		Mesocratas
			Melanocratas

3.2.2 Análise mineralógica

3.2.2.1 Difração de raios-X (DRX)

Para determinar a composição mineralógica de uma rocha, além da análise petrográfica, é utilizada a difração de raios-X. Esta técnica consiste em fazer incidir um feixe de raios-X sobre uma amostra, cujos ângulos de incidência variam por rotação da amostra. A medição do ângulo de reflexão e intensidade da radiação difratada é feita através de um detetor, tal como o esquema da figura 10 (Wilson, 1987).

W. L. Bragg mostrou que a distribuição angular de uma radiação dispersa podia ser entendida, considerando o feixe difratado como se fosse refletido por famílias de planos que passam através dos pontos da rede cristalina, onde o ângulo de incidência é igual ao de reflexão (*in* Galhano, 1999). Assim, são necessárias que sejam satisfeitas condições geométricas expressas pela lei de Bragg:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

n : número inteiro da ordem da reflexão

λ : comprimento de onda dos feixes de raio-X incidente e difratado

d : distância perpendicular entre dois planos da rede cristalina

θ : ângulo complementar do ângulo de incidência do feixe de raios-X

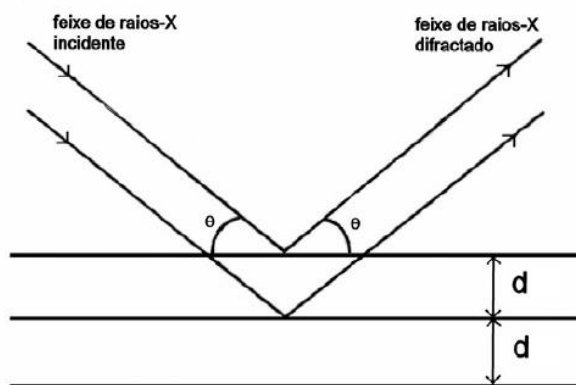


Figura 10 - Diagrama de difração de raios-X na face de um cristal com planos da rede cristalina de equidistância d , para um ângulo de difração θ
(Fonte: Pinho, 2003)

Os registos da intensidade obtidos no detetor, registos difratométricos, apresentam as posições dos máximos de difração ou picos e as respectivas intensidades obtidas pelos vários minerais presentes. Estes picos de difração permitem o cálculo da composição mineralógica aproximada, sendo, por isso, uma avaliação semi-quantitativa (Pinho, 2003).

Os minerais apresentam registos difratométricos ou modelos de difração específicos e distintos, o que permite a criação de tabelas organizadas que ajudam a identificar os minerais presentes numa amostra e podem ser consultados nos trabalhos de Assunção & Garrido (1953) e Moore & Reynolds (1989) (*in* Pinho, 2003).

A preparação para este ensaio consistiu em amostras de rocha das três variedades de traquito, moídas num moinho de anéis, com um calibre de moagem de cerca de 63 μm . A amostra foi compactada num porta amostras, com cerca de 1 cm de diâmetro. Os ângulos de incidência do feixe de raio-X variaram entre os 0° e os 65° (2θ). O aparelho utilizado para a realização das análises foi:

- Philips: Gerador PW 1130/90, goniómetro 1050/70, microprocessador PW 1710 e registador Pm 8203 A.

O resultado vem expresso na forma de um gráfico, difratograma (Fig. 11), o qual é interpretado recorrendo a comparações com valores tabelados, de forma a identificar os minerais correspondentes aos picos mais elevados.

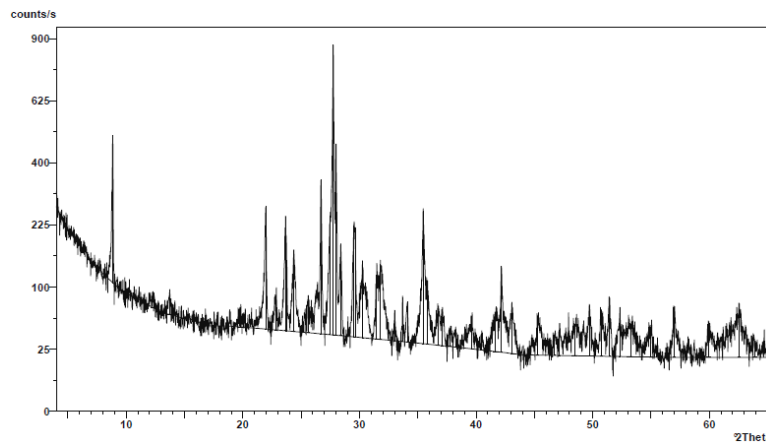


Figura 11 - Difratograma

3.2.3 Análise da cor

Cada pessoa tem diferentes percepções das cores, o que pode resultar em problemas na definição da cor de determinados objetos, envolvendo custos para fabricantes e fornecedores. Para contornar esse problema existe uma linguagem padronizada para avaliar e expressar corretamente a cor de um objeto. A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) é uma organização sem fins lucrativos que definiu espaços de cor. A linguagem universal utiliza coordenadas $L^*a^*b^*$, expressa de forma objetiva, através de números (Fig. 12). Ao serem coordenadas permite que a cor seja expressa em termos de luminosidade, saturação e tonalidade, respetivamente (Konica Minolta, 2016).

- L^* - Indica a luminosidade [0 - Preto; 100 - Branco]
- a^* - Variação entre o vermelho e o verde [$a < 0$ - Verde; $a > 0$ - Vermelho]
- b^* - Variação entre o amarelo e o azul [$b < 0$ - Azul; $b > 0$ - Amarelo]

As coordenadas cromáticas a^* e b^* variam entre [-60;60].

Ao comparar duas cores, a diferença total da cor (ΔE^*) é representada pelo módulo do vetor que compara as cores, dada pela seguinte expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

3. Materiais e métodos

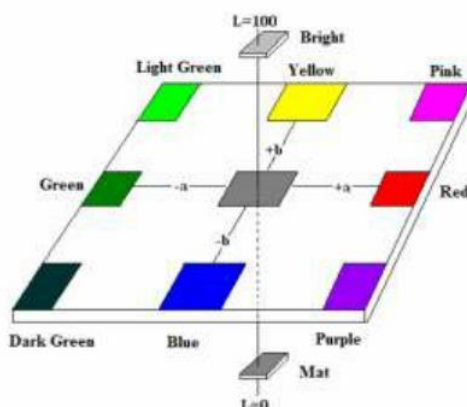


Figura 12 - Esquema de cores no espaço $L^*a^*b^*$
(Fonte: Ozen *et al.*, 2014)

Para o estudo da cor das amostras foi utilizado o Colorímetro da Konica Minolta, modelo CM 508 i (Fig. 13), que mede a luz refletida pelos objetos em cada comprimento de onda, através do espaço cromático CIELAB, descrito anteriormente.



Figura 13 - Colorímetro usado para as medições realizadas.

A cor é uma característica importante na escolha dos materiais rochosos que são utilizados como rochas ornamentais. Contudo, durante a sua utilização, a cor pode vir a sofrer alterações, devido a agentes que alterem o material.

Neste estudo foram avaliadas as cores entre o traquito são e o alterado, tanto em amostras secas, como húmidas, de modo a simular o acabamento polido. Foram utilizadas duas placas de rocha com ambas as variedades e realizadas 12 medições em cada uma delas. Também foi analisada a cor em amostras moídas, para identificar a cor dominante das amostras, devido à rocha apresentar alguma heterogeneidade e o campo de medição do aparelho ser reduzido.

3.2.4 Ensaios físico-mecânicos

Estes ensaios pretendem analisar o desempenho de uma rocha ornamental, neste caso o traquito, avaliando o seu comportamento, simulando solicitações a que o material poderá estar sujeito em obra. Os ensaios foram realizados utilizando amostras de TS, exceto situações referidas. Para interpretar os dados obtidos calculou-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo esperado, cujos resultados encontram-se em anexos.

3.2.4.1 Índices Físicos

Os índices físicos das rochas incluem as propriedades de massa volúmica aparente, porosidade aberta, absorção de água à pressão atmosférica e coeficiente de absorção de água por capilaridade. Estes refletem as características das rochas, como a presença de vazios e a capacidade de absorver água, o que influencia o seu comportamento físico-mecânico e consequentemente a sua aplicabilidade em interiores e exteriores. Rochas com elevada absorção de água têm a sua resistência mecânica inferior devido às fracas ligações e aos espaços vazios entre os grãos.

Para a realização destes ensaios foram utilizados 12 provetes de TS, 6 de TA e 6 de TM, com dimensões 50*50*50 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e colocados no exsiccador para arrefecer, registando depois o valor de peso seco (M_d), com uma balança de precisão 0,01g. Para a realização dos ensaios foram adotados procedimentos internos do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL, com base nas normas europeias indicadas.

3.2.4.1.1 Absorção de água à pressão atmosférica (Ab) – Procedimento interno

Este ensaio indica a durabilidade do material num determinado meio, sendo um índice decisivo na escolha do material para situações em que envolva o contacto com água (interiores ou exteriores).

O ensaio foi realizado através de adaptações à norma NP EN 13755:2008, segundo procedimentos internos do DCT.

Os provetes foram colocados num recipiente sobre pequenos suportes e colocados numa autoclave. O início do ensaio consiste em adicionar água corrente a $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ até metade da altura dos provetes (tempo t_0).

3. Materiais e métodos

Após $t_0 + (60 \pm 5)$ min, adicionar água corrente até o nível atingir $\frac{3}{4}$ da altura dos provetes.

Após $t_0 + (120 \pm 5)$ min, adicionar água corrente ao recipiente até que os provetes fiquem completamente imersos.

O ar dissolvido é eliminado através da fervura da água, ligando a autoclave a 100°C durante cerca de 1h.

Após (24 ± 2) h, os provetes são retirados da água, limpos com um pano húmido e pesados logo de seguida, utilizando uma balança com precisão de 0,01g, para registo do peso saturado (M_s).

O resultado é expresso segundo a seguinte expressão:

$$Ab (\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100$$

3.2.4.1.2 Massa volúmica aparente (M_a) e porosidade aberta (PA) – Procedimento interno

O valor da massa volúmica permite o cálculo de volumes específicos e a porosidade aberta disponibiliza informação sobre os vazios da rocha.

O ensaio foi realizado através de adaptações à norma NP EN 1936:2008, segundo procedimentos internos do DCT.

Foram aproveitados os provetes e o procedimento do ensaio anterior. O peso saturado (M_s) é obtido, secando os provetes com um pano húmido, através de uma balança com precisão de 0,01g e o peso hidrostático (M_h) é obtido colocando o provete num cesto imerso em água destilada e preso à balança, com precisão de 0,1g.

Os resultados são expressos segundo as seguintes expressões:

$$M_a (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_d}{M_s - M_h} * \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$: Densidade da água (998 kg/m^3 a 20°C)

$$PA (\%) = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_h} * 100$$

3. Materiais e métodos

3.2.4.1.3 Coeficiente de absorção de água por capilaridade (C_1) – NP EN 1925:2000

O coeficiente de absorção de água por capilaridade reflete a facilidade de percolação da água na rocha, ao longo do tempo, permitindo estabelecer relação entre a absorção de água e a distribuição dos vazios.

Foram utilizados 12 provetes de TS (Fig. 14), calculada a área (A), em m^2 , de uma das faces de cada provete e a mesma face é imersa em água destilada até uma profundidade de (3 ± 1) mm.

Utilizando um cronómetro e nos intervalos de tempo (t) de 1, 3, 5 10, 15, 30, 60, 150, 240, 1440, 2880 minutos, os provetes são secos com um pano húmido e pesados, registando-se o peso saturado (M_s).

O resultado é expresso num gráfico de absorção de água por unidade de área imersa (g/m^2) vs tempo ($s^{0.5}$). Se o coeficiente de correlação entre os primeiros pontos do gráfico e a regressão linear da mesma secção é maior que 0.90, então o coeficiente de absorção de água é obtido pelo declive da reta de regressão linear, ajustada aos primeiros sete pontos do gráfico.

O resultado é expresso pela seguinte expressão:

$$C_1 (g/(m^2/s^{0.5})) = \frac{M_s - M_d}{A \cdot \sqrt{t}}$$

Este parâmetro físico só é determinado em rochas com porosidade aberta igual ou superior a 1% (determinada de acordo com a NP EN 1936:2008).



Figura 14 - Realização do ensaio de absorção de água por capilaridade em 10 provetes de traquito.

3.2.4.2 Resistência à compressão uniaxial (R_u) – NP EN 1926:2008

Este ensaio é essencial se a rocha tiver de suportar cargas elevadas e funções estruturais na sua aplicação.

Para obter a resistência à compressão uniaxial foram utilizados 10 provetes com 50*50*50 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e posteriormente colocados no exsiccador para arrefecer.

Mediram-se as dimensões das faces que delimitam a secção transversal do provete a ensaiar e verificou-se se estes possuem faces planas e paralelas entre si. Em seguida cada provete é ensaiado numa prensa hidráulica (Fig. 15) que aplique uma taxa de tensão crescente de $(1 \pm 0,5) \text{ MPa/s}$, equivalente a 2,8 kN/s.

A resistência à compressão uniaxial é expressa pela razão entre força exercida quando alcançada a rutura (F) e a área transversal do provete (A), expressa em MPa. O resultado é expresso pela seguinte expressão:

$$R_u \text{ (MPa)} = \frac{F}{A}$$

F: Força de rutura (N)

A: Área transversal do provete (mm^2)



Figura 15 - Prensa hidráulica utilizada para a execução do ensaio de resistência à compressão uniaxial.

O comportamento da rocha à compressão é normalmente não reversível, o que significa que a deformação sofrida pela amostra nunca poderá ser recuperada na totalidade se houver uma descarga. (Rocha, 1981). Os provetes ao serem submetidos a um ensaio de compressão uniaxial, apenas estão sujeitos a pressão na vertical σ_1 .

3. Materiais e métodos

Os planos de rutura mais prováveis correspondem às duas famílias de planos que formam um ângulo de 45° com σ_1 e σ_3 , (Costa, 2007) tal como exemplifica a seguinte figura.

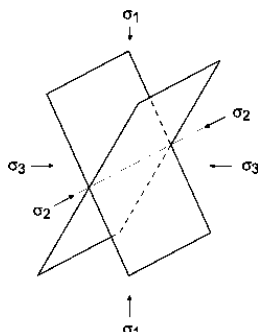


Figura 16 - Planos teóricos de rutura das amostras durante o ensaio de resistência à compressão uniaxial (Fonte: Costa, 2007)

3.2.4.3 Resistência à flexão sob carga centrada (R_c) – NP EN 12372:2008

O ensaio indica a tensão mínima ou flexão máxima que provoca a rutura do provete quando submetido a esforços de compressão e tração. Isto permite orientar o cálculo da espessura das placas para as diferentes aplicações e comprovar a sua resposta quando solicitadas a esforços semelhantes como em escadas e bancadas (Moura, 2000).

Para obter este parâmetro são utilizados 18 provetes com 50*50*300 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e posteriormente são armazenados num local para arrefecer.

Os provetes são colocados no tensómetro, assentes em dois apoios laterais e o cilindro de carga é aplicado no centro do provete (Fig. 17), com uma taxa de incremento de carga de $(0,25 \pm 0,05) \text{ MPa/s}$ até alcançar a rutura.

O resultado é expresso segundo a seguinte expressão:

$$R_c \text{ (MPa)} = \frac{3*F*l}{2*b*h^2}$$

F : Força de rutura (N)

l : Distância entre apoios (mm)

b : Largura do provete (mm)

h : Altura do provete (mm)

3. Materiais e métodos



Figura 17 - Realização do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada

3.2.4.4 Determinação da velocidade de propagação de ultrassons (V) – NP EN 14579:2007

A velocidade de propagação das ondas sonoras através das rochas depende da densidade e das propriedades elásticas, bem como da fissuração do material, fornecendo informações sobre algumas características, como a porosidade (Rocha, 1981). Este ensaio deteta zonas com defeitos internos, como vazios e heterogeneidade do material através da diminuição da velocidade de propagação das ondas sonoras (Ribeiro, 2013).

Consiste na medição da velocidade de propagação de ondas ultra sónicas longitudinais (V_p) nos provetes. Foi utilizado um emissor posicionado numa das faces da amostra e um recetor na face oposta (Fig. 18).

Foram utilizados 8 provetes com dimensões 50*50*50 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e posteriormente colocados no exsiccador para arrefecer. O resultado é dado pelo tempo que as ondas levaram a percorrer a amostra e a velocidade correspondente é obtida através da seguinte fórmula:

$$V \text{ (m/s)} = \frac{e}{t}$$

e = espaço percorrido (m)

t = tempo (s)

3. Materiais e métodos

Foram ensaiados provetes novos (não submetidos a qualquer ensaio) e provetes após os ensaios de resistência ao gelo, resistência ao nevoeiro salino e resistência à cristalização de sais, de modo a compreender se ocorreram alterações significativas no interior dos provetes, comparando os resultados. Estes provetes foram, posteriormente, submetidos à compressão uniaxial.

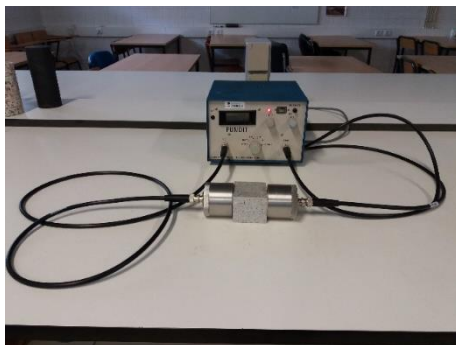


Figura 18 - Equipamento utilizado para a medição da velocidade de propagação de ultrassons

3.2.4.5 Resistência ao gelo (R_g) – Procedimento interno

Este ensaio permite determinar o efeito dos ciclos de gelo/degelo no desempenho mecânico do provete, nomeadamente na resistência à compressão.

Em Portugal, o território está sujeito a fracas ações de gelo/degelo, pelo que este ensaio apenas interessa nos locais onde se alcancem frequentemente temperaturas negativas.

Para a realização deste ensaio foi adotado o procedimento interno do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL, com base na norma europeia NP EN 12371:2010.

Os provetes foram colocados numa cuba de gelo onde são sujeitos a vários ciclos, caracterizados por um período de 18h de gelo, a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, seguindo-se de uma imersão dos provetes em água à temperatura ambiente, durante 6h.

O critério utilizado para o controlo da resistência ao gelo (R_g) consiste no número de ciclos atingidos, inspeção visual antes e após o ensaio, a perda de massa e a realização de um ensaio mecânico, neste caso a compressão uniaxial, segundo os procedimentos descritos anteriormente. No total foram efetuados 80 ciclos.

3. Materiais e métodos

Para a realização do ensaio tecnológico foram efetuadas algumas adaptações à norma. São utilizados 12 provetes com 50*50*50 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e posteriormente colocados no exsiccador para arrefecer, registrando depois o valor de peso seco (Md), utilizando uma balança com precisão 0,01g.

A perda de peso percentual (ΔM) é calculada no final do ensaio, secando os provetes na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e obtido o peso seco final (Mf), através da seguinte equação:

$$\Delta M (\%) = \frac{Md - Mf}{Md} * 100$$

3.2.4.6 Resistência ao desgaste com máquina de Capon (Rd) – NP EN 14157:2007

Este ensaio simula a deterioração do material ao ser desgastado por um processo contínuo, como acontece nos pavimentos, onde o tráfego é intenso, através das dimensões da calote formada.

Foram utilizados 6 provetes com dimensões 100*100*30 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e colocados no exsiccador para arrefecer. Posteriormente, uma das faces maiores dos provetes é pintada, para que no fim do ensaio seja mais fácil delimitar a área desgastada.

Recorreu-se a uma máquina de desgaste de Capon que consiste num disco de aço de 200 mm de diâmetro, 70 mm de largura e a um depósito com abrasivo que debita um caudal de corindo (alumina branca calcinada).

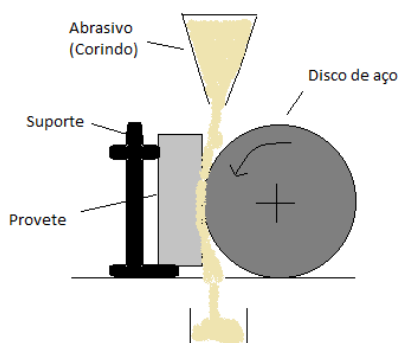


Figura 19 - Esquema do ensaio de desgaste com máquina de Capon

3. Materiais e métodos

Os provetes foram ensaiados na sua face maior, durante 60 segundos, onde o disco de aço roda a uma velocidade de 75 rotações por minuto, é pressionado contra a superfície do provete através de um contrapeso de 14 kg e em conjunto com o caudal de abrasivo de 2,5 L/min (Fig. 19), provoca uma calote no provete, que será medida segundo as dimensões AB, CD e EF, indicadas na figura 20. Caso a percentagem de obliquidade das calotes for inferior a 60%, o ensaio é rejeitado.

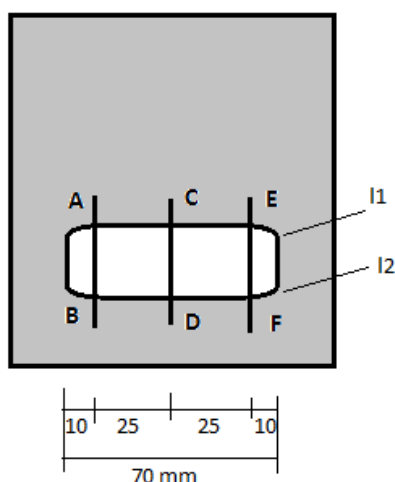


Figura 20 - Esquema frontal da calote produzida num provete submetido ao ensaio de desgaste com máquina de Capon

Como referência foi utilizado o “Marbre du Boulonnais”, um calcário de origem francesa. O fator de calibração é a diferença aritmética entre 20 mm e a calibração obtida no ensaio com o “Marbre du Boulonnais”.

O resultado é expresso através da seguinte expressão:

$$Rd \text{ (mm)} = x + (20 - y)$$

x : Dimensão do sulco do provete (mm) – Troço CD

y : Fator de calibração obtido no ensaio (mm)

O valor do desgaste obtido trata-se da média aritmética, em mm, das calotes obtidas para os 6 provetes ensaiados, após correção através do valor obtido para o material de referência e do arredondamento aos 0,5 mm.

3.2.4.7 Resistência à ancoragem (Ra) – NP EN 13364:2006

Este ensaio é essencial quando se pretende utilizar uma rocha em placas de revestimento e quando estas são fixas mecanicamente, utilizando cavilhas nos bordos.

Foram utilizados 4 provetes com dimensões 200*200*30 mm, cada um com 4 orifícios laterais de ancoragem onde são introduzidas cavilhas de metal, seladas com argamassa (Fig. 21).

Para o ensaio foram seleccionados os 10 orifícios que melhor satisfaziam os seguintes requisitos normativos: $(10 \pm 0,5)$ mm de diâmetro, (30 ± 2) mm de comprimento, espessura de pedra entre a parede do orifício e as duas faces maiores (d1) com (10 ± 2) mm, desvio da perpendicular, dos orifícios, relativamente à face onde estão executados $< 4,5^\circ$.

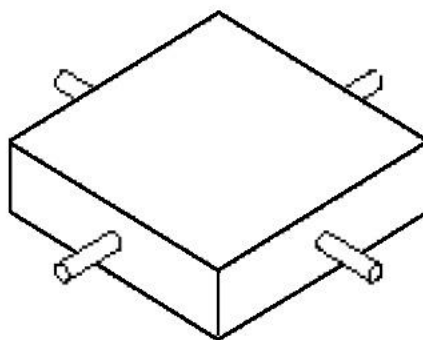


Figura 21 - Esquema dos provetes para o ensaio de resistência à ancoragem.

(Fonte: NP EN 13364:2006)

O ensaio tecnológico consiste em, através de um tensómetro modificado (Fig. 22), aplicar uma taxa de carga de (50 ± 5) N/s, perpendicularmente ao eixo da cavilha. O ensaio termina quando a amostra atingir a rutura, ao nível do orifício de ancoragem.



Figura 22 - Equipamento utilizado no ensaio da resistência à ancoragem

3. Materiais e métodos

Depois de atingir a rutura foi medida a distância entre o centro da cavilha e a máxima distância da fratura (ba), como indica na figura 23 e a resistência é indicada pela força de rutura obtida, em N.

$$Ra \text{ (N)} = \text{Força de rutura obtida}$$

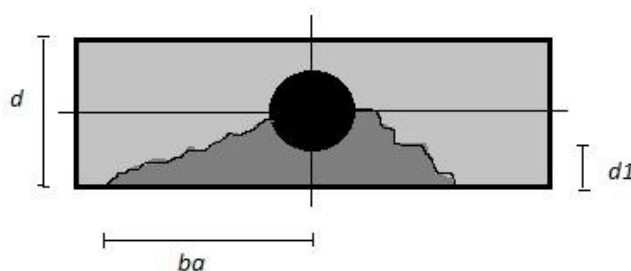


Figura 23 - Rutura do orifício de ancoragem.

d = Espessura do provete; ba = Máxima distância da fratura; $d1$ = Distância entre o orifício e aresta do provete

3.2.4.8 Resistência ao choque (Rq) – NP EN 14158:2005

Este ensaio permite obter dados sobre a resistência do material à queda de objetos de modo a concluir se possui boas características a determinadas aplicações, como pavimentos, bancadas ou paredes.

Foram utilizados 7 provetes com dimensões 200*200*30 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante e posteriormente colocados num local seco para arrefecer. Um dos provetes foi utilizado como provete de controlo para definir a altura de queda inicial.

O ensaio consiste em colocar o provete num leito de areia nivelado e deixar cair uma esfera de aço com cerca de 1 kg, a uma altura inicial de 100 mm, sobre o centro do provete (Fig. 24). Caso o provete não parta, a altura de queda da esfera aumenta 50 mm a cada tentativa, até se alcançar a rutura e é registado esse valor. A altura que permitiu a rutura do provete de controlo é registada (ht) e os restantes provetes começam o ensaio com uma altura inicial de queda da esfera de $hi = (ht - 150)$ mm.

O resultado é obtido pela seguinte expressão:

$$Rr \text{ (J)} = m * g * hi$$

m : peso da esfera (kg)

g : Aceleração da gravidade ($9,806 \text{ m/s}^2$)

hi : Altura de rutura (m)



Figura 24 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à rutura

3.2.5 Ensaio de alteração

A alteração de uma rocha corresponde à sua transformação, decomposição e degradação, durante um determinado período de tempo em contacto com diversos agentes físicos e químicos (Aires-Barros, 1991). Os minerais ao estarem expostos à atmosfera tornam-se potencialmente instáveis mas não se alteram simultaneamente nem com a mesma facilidade devido às diferentes géneses (Simão, 2003). Quando em contacto com soluções ácidas naturais, alguns minerais são parcialmente dissolvidos e as suas estruturas lixiviadas, como as piroxenas, anfíbolos, feldspatos e filossilicatos (*ibidem*). Contudo, considera-se que os elementos libertados para a solução (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}) não se encontram na mesma proporção relativamente à sua concentração nos minerais (Huertas *et al.*, 1995).

Depois de aplicadas em obra, no exterior, as rochas ficam expostas a amplitudes térmicas, chuva, gelo, nevoeiro salino e no interior a agentes químicos agressivos. Através dos seguintes ensaios de alteração acelerada pretende-se prever o seu comportamento.

Nos ensaios de alteração, para além dos valores tabelados sugeridos, os resultados dos ensaios mecânicos são comparados com o TS original, ou seja, resultados para a rocha sem qualquer ensaio de alteração prévio.

3.2.5.1 Sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos (St) – Procedimento interno

O ensaio foi realizado através de adaptações à norma europeia NP EN 16140:2013, segundo procedimentos internos do DCT.

Foram utilizados 9 provetes com 50*50*10 mm, sendo que um deles foi utilizado como referência. São secos na estufa a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante, posteriormente são colocados no exsiccador para arrefecer, é realizada a pesagem, utilizando uma balança com precisão 0,01g. Posteriormente são medidas as suas dimensões de largura (L), comprimento (A) e espessura (E).

O procedimento de ensaio consiste em ciclos caracterizados por $(18 \pm 0,5)$ h na estufa a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e por uma imersão em água destilada durante $(6 \pm 0,5)$ h à temperatura ambiente (Fig. 25).



Figura 25 - Provetes imersos em água destilada.

Após um total de 60 ciclos é realizada uma nova pesagem de cada provete, medição das suas dimensões e registadas as alterações de cor, estruturais, entre outras.

As oxidações são avaliadas segundo a tabela 5.

Tabela 5 - Códigos de avaliações das oxidações

Código	T1	T2	T3
Alteração	Sem oxidações, apenas alteração da cor	Oxidações apenas no contorno dos minerais	Oxidações com propagação da coloração

Para avaliar as alterações provocadas pelos ciclos térmicos é calculada a perda de peso (ΔM), as variações das dimensões das amostras e as alterações de cor, no fim do ensaio.

A variação súbita de temperatura a que as rochas estão sujeitas neste ensaio, proporciona dilatações e retrações dos minerais, resultando em tensões internas. Caso a rocha apresente minerais metálicos, pode desencadear processos de oxidação e consequentemente o aparecimento de manchas.

3.2.5.2 Resistência ao nevoeiro salino – Procedimento interno

Este ensaio pretende simular ambientes costeiros até 20 km de distância (Fonseca, 2012), visto os oceanos serem uma das principais fontes do nevoeiro salino, promovendo o aumento da concentração de sais em materiais de construção (Carvalho, 2015).

O ensaio foi realizado segundo o procedimento interno do DCT, baseado na norma europeia NP EN 14147:2007.

Para a avaliação deste parâmetro foram utilizados 11 provetes com 50*50*50 mm, secos na estufa a $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ até peso constante, que foram posteriormente colocados num exsiccador para arrefecer. Em seguida obteve-se o peso seco (M_d), utilizando uma balança com precisão 0,01g.

O ensaio consiste em ciclos de nevoeiro salino numa câmara automática - Corrosionbox 1000 L da Cofomegra - que permite fazer 4h de nevoeiro salino (180 g/L de NaCl) e 8h em ambiente seco (sem nevoeiro salino).

Os provetes foram sujeitos a um total de 226 ciclos. Entre estes ciclos foram realizadas cinco interrupções para controlo dos parâmetros da rocha. Os provetes foram retirados da câmara, secos na estufa a $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$, colocados no exsiccador para depois serem pesados e obter-se o peso seco com sal (M_{di}). Posteriormente, foram colocados

num recipiente com água destilada, em circulação, durante cerca de uma semana, para retirar o sal das amostras, sendo controlado o valor da condutividade da água. A remoção do sal das amostras foi dada como concluída, quando a condutividade da solução em contacto com as amostras atingiu um valor menor ou igual ao dobro da condutividade da água destilada ($2 \mu\text{S}/\text{cm}^2$). Posteriormente foi obtido o peso hidrostático (Mh), saturado (Ms) e seco sem sal (Mf). O controlo dos índices físicos dos provetes foram determinados ao fim de 30, 90, 106, 166 e 226 ciclos, de forma a compreender a evolução da sua alteração ao longo do ensaio.

A resistência ao nevoeiro salino é obtida através da perda de peso percentual (ΔM), utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta M (\%) = \frac{Md - Mf}{Md} * 100$$

Complementarmente, os provetes de rocha foram sujeitos à compressão uniaxial, de forma a avaliar o seu comportamento após serem submetidos a este ensaio de alteração.

3.2.5.3 Resistência à cristalização de sais – NP EN 12370:2001

Este ensaio tem como principal objetivo avaliar a resistência à cristalização de sais em pedras naturais, em regiões onde tal fenómeno poderá ocorrer. Segundo Carvalho (2015), este é um dos principais processos de meteorização física das rochas, através da pressão de cristalização, pressão de hidratação ou dilatação térmica diferencial, podendo, em alguns casos, ocorrer meteorização química.

Para obter a resistência à cristalização de sais do traquito foram utilizados 4 provetes de TS com $50*50*50$ mm, secos na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante, posteriormente foram colocados num exsiccador para arrefecer e registou-se o peso seco inicial (Md), utilizando uma balança com precisão 0,1g.

Os ciclos caracterizam-se por 4h em solução de sulfato de sódio decahidratado (14%) e 18h na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante. Ao terminar o tempo de secagem os provetes são colocados no exsiccador a secar durante $(2 \pm 0,5)$ h e são novamente pesados. No total foram realizados 15 ciclos.

No final do ensaio os provetes foram colocados em água destilada durante (24 ± 1) h, sendo em seguida lavados com água corrente e secos na estufa a (105 ± 5) °C até massa constante, para registo do peso seco final (M_f).

A resistência à cristalização de sais corresponde à variação de peso percentual das amostras, utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta M (\%) = \frac{M_f - M_d}{M_d} * 100$$

Este ensaio é apenas realizado em rochas cuja porosidade aberta (determinada de acordo com a EN 1936) seja superior ou igual a 5%.

No caso dos provetes se manterem intactos deve realizar-se ensaios físico-mecânicos, visando a avaliação da sua resistência após a alteração, como a resistência à compressão uniaxial.

3.2.5.4 Lixiviação contínua com extrator de Soxhlet

Para este ensaio é utilizado um extrator Soxhlet que tem como objetivo simular a lixiviação das rochas de forma acelerada. O ambiente caracterizado corresponde a um clima quente e húmido, com chuvas abundantes e a períodos secos (Aires-Barros, 1991).

Neste ensaio foram analisadas as três variedades de traquito, havendo um sistema individual para cada um deles (Fig. 26). As amostras de rocha foram cortadas em pequenos fragmentos, tendo cada variedade cerca de 140g, os quais foram secos na estufa a (105 ± 5) °C até peso constante e posteriormente colocados num exsiccador para arrefecer e obteve-se o peso seco inicial (M_d), utilizando uma balança com precisão 0,01g. Em seguida são colocados no extrator e é montado o sistema.

Segundo Simão (2013), a metodologia aplicada neste ensaio resultou de adaptações realizadas ao procedimento descrito por Aires-Barros (1991) e Miranda (1986).

3. Materiais e métodos



Figura 26 - Montagem dos extratores de Soxhlets para realização do ensaio de lixiviação.

O sistema consiste num balão de destilação com 500 mL de água destilada, que é aquecido por uma manta de aquecimento. O vapor da água, resultante da ebulição, ascende pelo sistema e volta a condensar devido a um circuito de arrefecimento externo. Nesta fase as amostras ficam submersas até determinada altura seguindo-se o regresso da água ao balão de destilação (Fig. 27).

Foi considerado que cada ciclo tem a duração de 500 horas, após o qual o lixiviado é filtrado e é realizada a análise química através do método de absorção atómica.

Desta forma são identificados os elementos químicos mais suscetíveis de serem lixiviados pela circulação contínua de um fluido. No total foram realizados cinco ciclos.

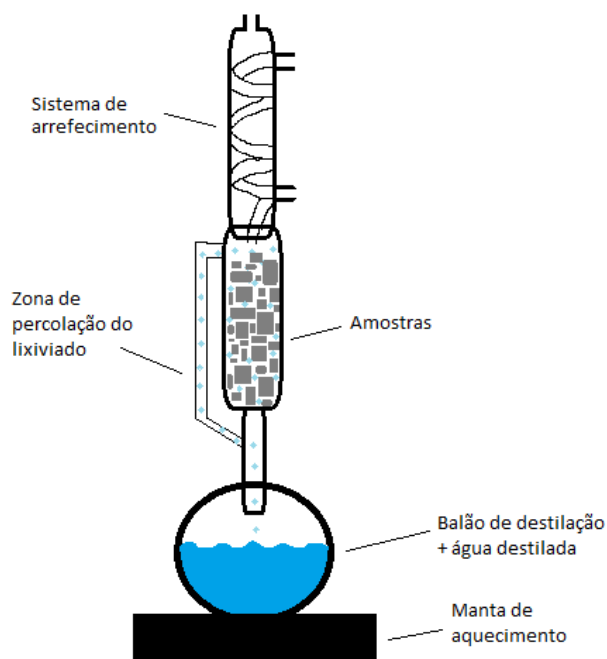


Figura 27 - Esquema do extrator de Soxhlet

Após o desmonte do sistema, as amostras são secas e pesadas, obtendo-se o peso seco final (M_f). Assim é calculada a perda de peso percentual (ΔM) para as amostras sujeitas a cada ciclo de lixiviação contínua por Soxhlet, utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta M (\%) = \frac{M_d - M_f}{M_d} * 100$$

Adicionalmente foi medido o pH e a condutividade do líquido no final de cada ciclo, de forma a avaliar o seu comportamento ao longo do ensaio. Também foi calculado o total dos resíduos filtrados do líquido para identificar qual a variedade de rocha mais suscetível à alteração.

3.2.5.5 Ataque com reagentes químicos

A resistência aos ataques com reagentes químicos é um ensaio de alteração acelerada que simula ambientes ou situações agressivas, através de reagentes químicos em determinadas concentrações, aplicados sob a amostra.

Utilizaram-se 18 provetes com 50*50*25 mm, secos na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante. Seguidamente foram colocados num exsiccador para arrefecer e registou-se o peso seco inicial (Md), utilizando uma balança com precisão 0,01g. Cada um dos provetes é selado utilizando um cilindro de plástico, fixo com silicone, para que a superfície da amostra fique destacada e se possa proceder ao ataque por dentro do cilindro (Fig. 28).

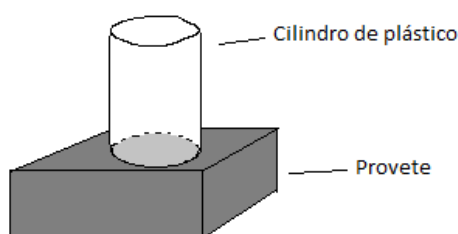


Figura 28 - Esquema da preparação do ensaio

Foram realizados três ataques, com um intervalo de quatro dias. O ataque consistiu em serem aplicados cerca de 3 mL de cada reagente em dois provetes de rocha. Os reagentes químicos utilizados neste ensaio pretendem simular diversas situações a que o material possa de estar exposto. Os reagentes e suas concentrações foram selecionadas segundo trabalhos de Simão (2003) e Costa (2007). As substâncias utilizadas para o ataque, as suas concentrações e as correspondentes simulações estão indicadas na tabela 6.

Após terminado o tempo de ensaio, registam-se as alterações ocorridas em cada uma das amostras, retirou-se o cilindro e o silicone e foram secas na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até peso constante. Posteriormente os provetes foram colocados num exsiccador para arrefecer e obteve-se o peso seco final (Mf). Assim, a perda de peso percentual (ΔM) de cada provete, após o ataque, é calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta M (\%) = \frac{Md - Mf}{Md} * 100$$

3. Materiais e métodos

Tabela 6 - Reagentes químicos utilizados, suas concentrações e simulação pretendida

Reagente	Concentração	Simulação
H ₂ SO ₄ – Ácido Sulfúrico	10 %	Chuva ácida
HNO ₃ – Ácido Nítrico	10 %	Chuva ácida
HCl – Ácido clorídrico	10 %	Chuva ácida
CH ₃ COOH – Ácido etanóico	10 %	Vinagre
KOH – Hidróxido de Potássio	100 g/L	Sabões gerais
NaClO – Hipoclorito de sódio	13,5%	Lixívia
C ₃ H ₆ O - Acetona	99,5 %	Acetona
C ₂ H ₆ O - Etanol	96% vol.	Alcool etílico
NH ₃ - Amoníaco	25 %	Amoníaco

A alteração ocorrida na rocha pode ser observada a olho nú através de variações de cor, cristalizações de sais ou dissolução da amostra. Para compreender o que ocorreu a nível mineralógico foram realizados ataques em lâminas delgadas de amostras de rocha da variedade TS. Este ataque consistiu em humedecer as lâminas delgadas com os diferentes reagentes e observar as alterações ocorridas no microscópio petrográfico.

3.2.6 Análise química

3.2.6.1 Microscópio Eletrónico de Varrimento

O microscópio eletrónico de varrimento (MEV) realiza análises microestruturais de materiais sólidos, com resolução na ordem de 2 a 5 nm, resultando uma imagem com aparência tridimensional (Maliska, 2013).

O processo consiste num canhão de eletrões que produz um feixe eletrónico que incide num diâmetro de cerca de 10 nm da amostra, formando uma imagem com boa resolução. E através da captação e análise dos raios-X emitidos pela amostra (Fig. 29) obtém-se informação sobre a composição química na zona de incidência do feixe (*ibidem*).

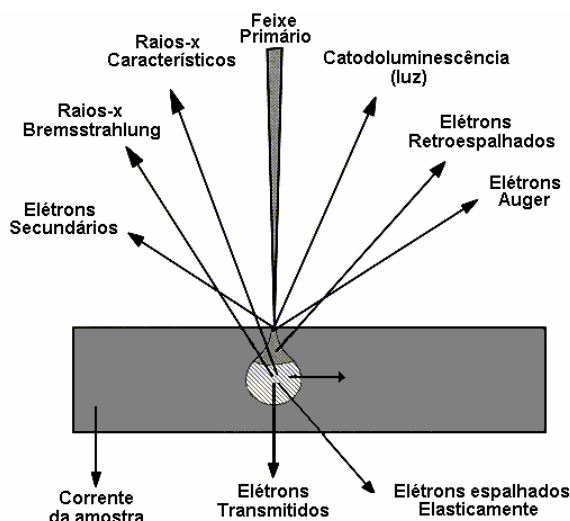


Figura 29 - Esquema da incidência do feixe primário e as diversas energias emitidas pela amostra (Maliska, 2013)

A preparação da amostra consiste na sua metalização (banho de ouro), permitindo que os eletrões que posteriormente serão incididos na amostra a percorram. Este processo ocorre em vácuo para eliminar o ar e impurezas e onde é injetado gás Árgon, que em conjunto com o ouro forma um *spray* que cobre a amostra numa película. O equipamento utilizado foi:

- Polaron Equipment LTD E 5000.

Em seguida, a amostra foi colocada no porta amostras do MEV, ligou-se o vácuo, induziu-se corrente elétrica e iniciou-se a análise química da amostra, recolhendo as imagens correspondentes, segundo o procedimento interno do DCT/FCT. O equipamento utilizado foi:

- JEOL JSM-T330A com sonda EDXRF.

Para a determinação da análise química através do microscópio eletrónico foi utilizada uma talisca de rocha da variedade TS e obtidos os registos das percentagens de óxidos para cada elemento.

3.2.6.2 Fluorescência de raios-X (FRX)

É um método de análise química que consiste em aplicar sobre uma amostra, um feixe policromático de raios-X de alta energia, de modo a que os elementos sejam identificados pela análise dos comprimentos de onda das radiações por eles emitidos (Gomes, 1979).

A análise é realizada por um espectrómetro de raios-X (Fig. 30), onde a difração da radiação incide na amostra de acordo com a lei de Bragg, ou seja, apenas a radiação com comprimento de onda simples é refletida, sendo a sua intensidade detetada (Galhano, 1999).

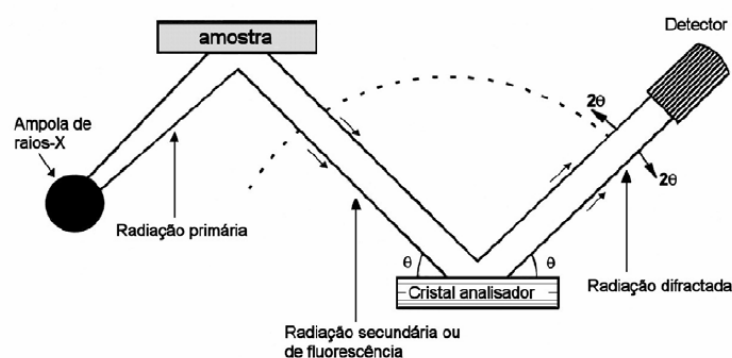


Figura 30 - Esquema da composição de um espectrómetro de raios-X (Fonte: Pinho, 2003)

A FRX é um método preciso, versátil e rápido mas destrutivo e sem caracter absoluto (Pinho, 2003).

A preparação para este ensaio consistiu em amostras de rocha, moídas num moinho de anéis, com um calibre de moagem de cerca de 63 μm . Seguidamente a amostra foi calcinada (permitindo o calculo da perda ao rubro) e submetida a um processo de fusão para obtenção da pérola (placa vítrea da amostra), para se proceder à análise. O espectrómetro utilizado para a realização das análises foi o seguinte:

- Philips: Espectrómetro PW 1410/00, gerador 1732/10, registador PM 8203.

Foram analisadas amostras de TS através desta técnica, de modo a determinar os elementos químicos presentes, através da percentagem de óxidos.

3.2.6.3 Absorção atômica

A espectrometria de absorção atômica é uma técnica que permite a análise quantitativa em amostras no estado líquido, de cerca de 70 elementos, tais como o Ferro, Sódio, Potássio, Cobre, Níquel, Zinco, Chumbo e com limites de detecção na ordem dos ppm, para os métodos com chama (Galhano, 1999).

As amostras utilizadas nesta técnica corresponderam aos lixiviados resultantes dos vários ciclos do ensaio de lixiviação com extrator de Soxhlet (ensaio descrito em 3.2.5.4), para as três variedades de traquito. A amostra líquida é pulverizada numa chama, formando-se um aerossol, onde os elementos passam a estar no estado gasoso e cujos átomos, no estado fundamental, absorvem energia de um feixe de radiação, com comprimento de onda específico para cada elemento a identificar (Fig. 31). Este comprimento de onda muda quando a amostra é vaporizada para a chama e esta altera a sua cor. A quantidade de comprimento de onda que é absorvida é chamada de absorvância, diretamente proporcional à concentração atômica (Galhano, 1999). A sua elevada sensibilidade torna este método adequado para a análise de microelementos ou elementos vestigiais, como componentes normais ou impurezas (Costa, 2013).

Os elementos que se pretendem quantificar neste procedimento são o Sódio, Cálcio, Magnésio, Potássio, Ferro, Alumínio e Silício para os quais foi necessário realizar padrões diluídos a partir de um inicial com 1000 ppm. O combustível utilizado foi o acetileno, em conjunto com o oxigénio e protóxido de azoto (oxidantes).

O aparelho utilizado neste procedimento foi um Perkin-Elmer AAnalyst 300, cujos resultados das concentrações dos elementos químicos vêm expressos em ppm (mg/L).

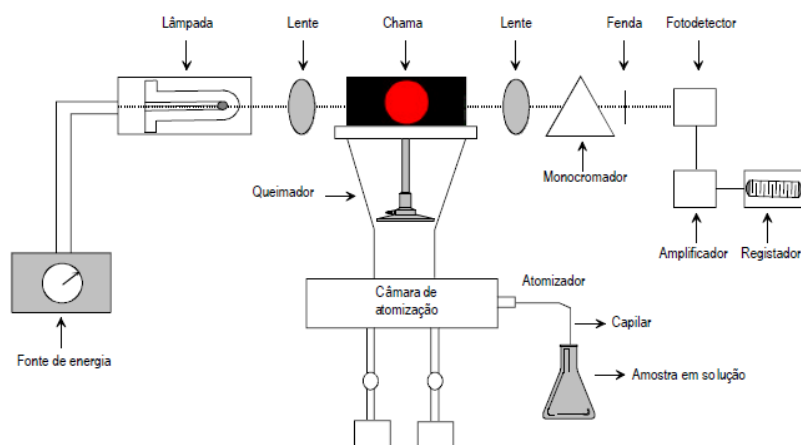


Figura 31 - Esquema de um espectrofotômetro de absorção atômica (Galhano, 1999)

4 Enquadramento da área de estudo

4.1 Enquadramento geográfico

O traquito em estudo neste trabalho, corresponde a afloramentos na aldeia da Laje, pertencente à freguesia de Igreja Nova, concelho de Mafra, Distrito de Lisboa (Fig. 32). A campanha de amostragem foi realizada com colaboração da empresa Granitos da Maceira, que consistiu na aquisição de uma porção de rocha, com recurso a explosivos, proveniente de um afloramento existente na região (N 38°53'55.84", W 9°17'53.53", altitude 150m).

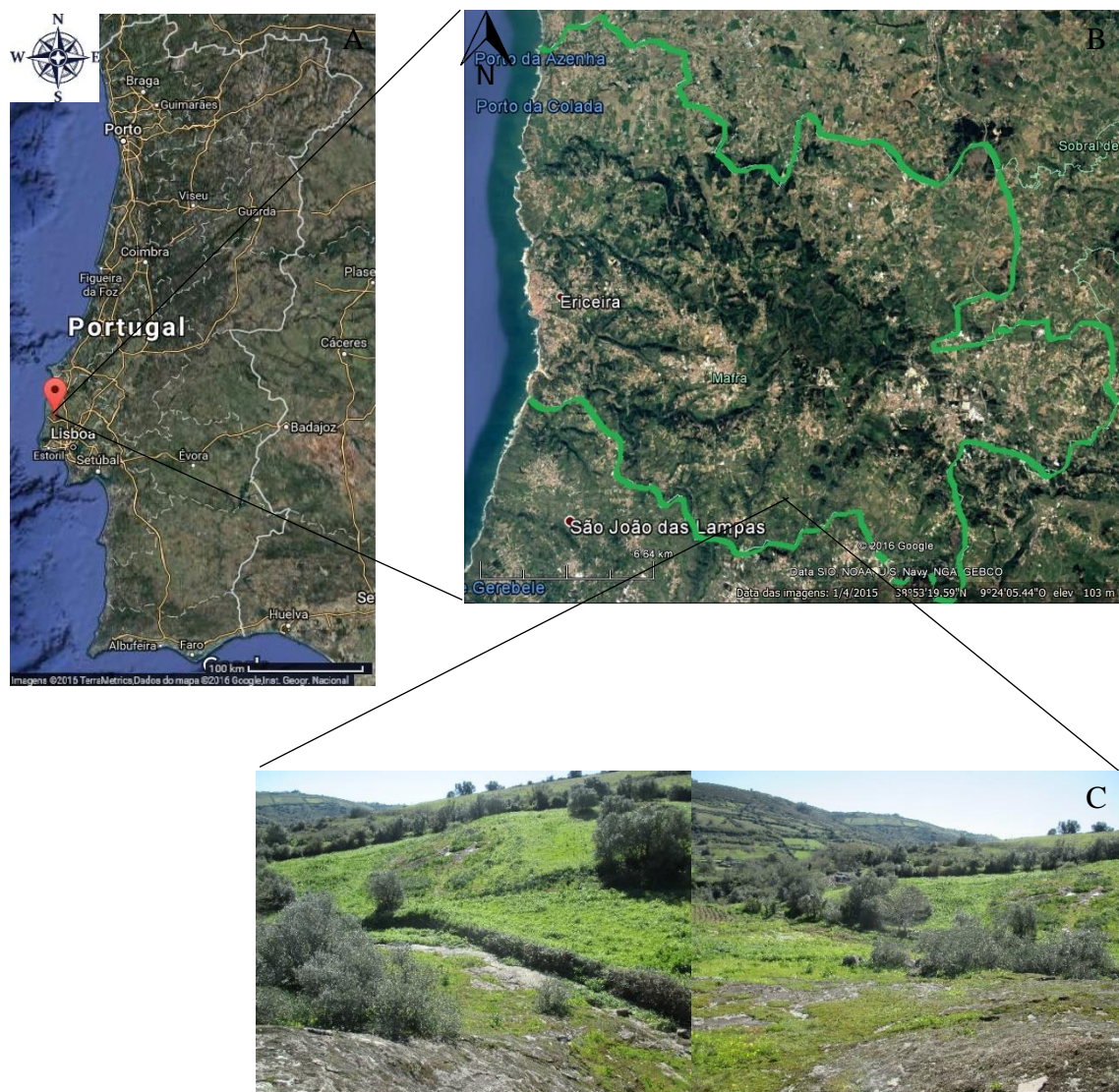


Figura 32 - Esquema da localização geográfica de Mafra relativamente ao território nacional continental (A), delimitação do concelho de Mafra (B) (Google, 2016) e afloramentos do traquito em estudo (C).

4. Enquadramento da área de estudo

Para um melhor conhecimento geográfico da região em estudo, foi elaborado um modelo tridimensional do terreno a partir de dados do *Google Earth*, seleccionando uma área de 2,4km² (Fig. 33). Foram construídas curvas de nível, as quais distam entre si 20 metros, utilizando o *software SketchUp* e que através da linha assinalada a vermelho na figura 34, permitiu a construção de um perfil topográfico da região (Fig. 35).

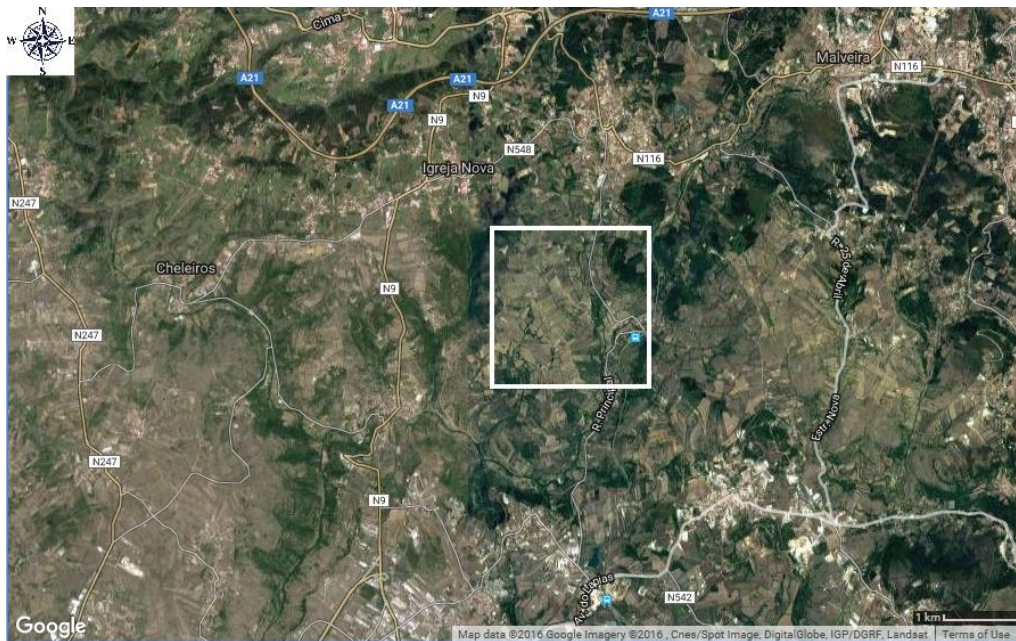


Figura 33 - Definição da área de estudo no *SketchUp*, através de imagem de satélite (*Google*, 2016)

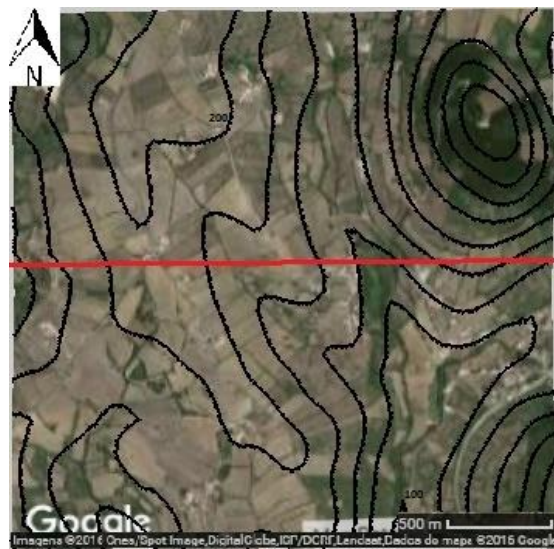


Figura 34 - Curvas de nível equidistantes 20 metros, da região seleccionada anteriormente (*SketchUp*, 2016)

4. Enquadramento da área de estudo



Figura 35 - Perfil topográfico segundo a linha vermelha horizontal da imagem anterior e localização dos afloramentos de traquito a cinzento (Google, 2016)

Através das figuras anteriores é possível enquadrar o local em estudo e através do *software ScratchUp*, desenhar as curvas de nível correspondentes. O perfil topográfico, com cerca de 1,5 km, permite conhecer o relevo da região em estudo e concluir que apresenta um declive médio de cerca de 10%, cujo máximo ronda os 20,3%. Os traquitos surgem em duas zonas a diferentes cotas, tal como está representado na figura 35.

O concelho de Mafra apresenta uma rede hidrográfica densa, caracterizada por vales encaixados de declives acentuados, sendo constituída por cursos de água em regime permanente, temporário ou efémero, com fluxo de sudeste para oeste. A bacia hidrográfica onde se inclui a região de estudo corresponde à bacia do rio Lizandro que desagua diretamente no Oceano Atlântico, caracterizada por uma área total de 86,3 km². (PDM, 2013). A ribeira da Laje e ribeira das Velhas, são dois afluentes que se localizam na área de estudo. Estas podem ser identificadas na figura 34 devido à inflexão das curvas de nível e no perfil topográfico da figura 35, representado pelos vales.

4.2 Enquadramento geológico

A carta geológica que abrange a região onde se enquadra o traquito encontra-se na Folha 34-A Sintra, à escala 1:50 000 e respetiva notícia explicativa, que engloba Sintra e Sul do concelho de Mafra (Fig. 36).

Esta região está inserida na Bacia Lusitaniana, concretamente na Orla Meso-Cenozoica Ocidental. É caracterizada pelo magmatismo da região de Lisboa, conhecido como Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL), que acompanhou a abertura do Atlântico Norte. É caracterizado por uma extensão de 200 km² com diversos tipos de estruturas

4. Enquadramento da área de estudo

vulcânicas, algumas bastante desgastadas pelos processos erosivos, como chaminés, escoadas, diques e rochas (Ramalho, 1993). Estas estruturas podem ser encontradas nos concelhos de Lisboa, Sintra, Mafra e Runa. O CVL instalou-se entre o Cretácico superior e o Eocénico inferior, há cerca de 72 Ma. A região é constituída por mantos basálticos intercalados por leitos piroclásticos e níveis sedimentares, correspondendo à atividade vulcânica alternada ao longo do tempo, desde efusiva até explosiva. Predominam os basaltos e outras rochas mais diferenciadas e escassas como traquitos, riólitos e tipos petrográficos granulares básicos, os gabros (*ibidem*).

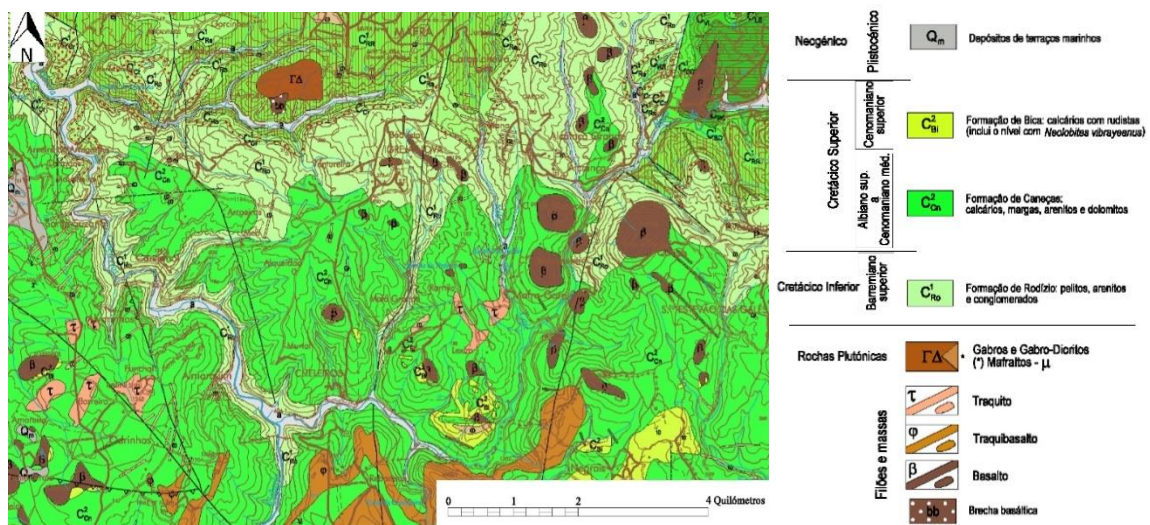


Figura 36 - Excerto da Carta Geológica 34-A, Sintra (Ramalho *et al.*, 2005).

Os movimentos orogénicos responsáveis pelas fases da orogenia Alpina (ativa durante 40 a 45 Milhões de anos) posteriores ao CVL fizeram com que as sequências sedimentares e o Complexo Vulcânico de Lisboa basculassem ligeiramente entre 10 a 12° para Sul, formando uma estrutura monoclinal que data do Miocénico Superior (Pereira *et al.*, 2008).

As falhas dominantes na região consistem em acidentes de direção NNE-SSW a NE-SW e estrias horizontais com movimento de desligamento esquerdo, que funcionaram como falhas normais durante o período distensivo correspondente ao vulcanismo tardi-cretácico, em que muitas delas foram preenchidas por filões basálticos (Ramalho, 1993).

4. Enquadramento da área de estudo

A área em estudo, delimitada anteriormente na figura 33, corresponde à geologia representada na seguinte figura. Assinalado a vermelho encontra-se o local onde se recolheu as amostras de traquito, utilizadas posteriormente nos ensaios de caracterização do material. Este afloramento apresenta uma área com cerca de 15 hectares (150000 m²). A atravessar este afloramento encontra-se uma possível falha com orientação NE-SW. Localizado a cerca de 100 metros a oeste deste afloramento encontra-se outro afloramento de traquito de dimensões semelhantes.

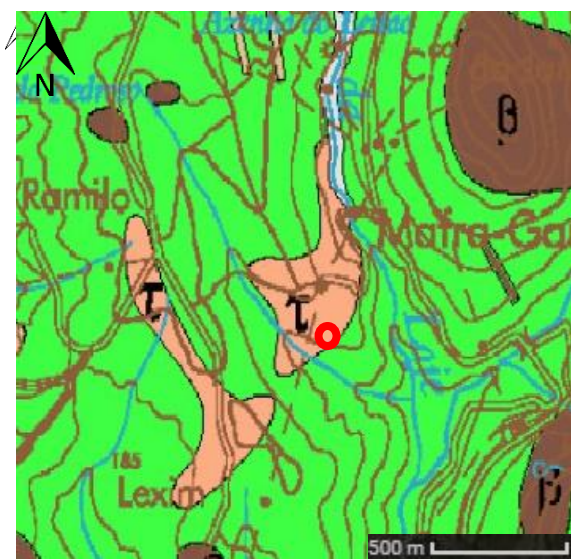


Figura 37 - Geologia da área de estudo com indicação do local da amostragem (Ramalho *et al.*, 2005)

Na figura 37 é possível identificar os afloramentos traquito (a cor de rosa) e em redor a formação de Caneças (a verde) de idade compreendida entre o Albiano Superior e o Cenomaniano médio, cerca de 100 Ma, representada por calcários argilosos compactos, com macrofauna, das quais ostreídeos, entre outros bivalves. Tais vestígios devem-se à rotação sinistrogira da Península Ibérica, no fim do Cenomaniano, devido à abertura do Golfo da Biscaia, ocorrendo uma regressão marinha (Pereira, 2008). As manchas de cor castanha, localizadas a cotas mais elevadas correspondem a basaltos, nomeadamente cones vulcânicos e vestígios da sua atividade. Estas formações repetem-se pelas freguesias vizinhas, proporcionando uma paisagem extensa de serras, as quais foram denominadas de altos ou cabeços.

4. Enquadramento da área de estudo

A cerca de 1,5 km, em linha reta para SW, encontra-se o famoso penedo do Lexim, uma chaminé vulcânica de basalto composta por disjunções colunares prismáticas e uma altura de 223 metros.

4.2.1 Prospeção geofísica

A prospeção geofísica é o ramo da física aplicada que se ocupa do estudo de estruturas ocultas no interior da terra (petróleo, águas subterrâneas, massas minerais, etc.) e da localização desses corpos delimitados pelo contraste de alguma das suas propriedades físicas em relação ao meio envolvente. As quatro principais técnicas de prospeção geofísica indireta são a gravimétrica, magnética, elétrica e sísmica. O método elétrico consiste no próprio aparelho que cria um campo físico de corrente elétrica à qual o terreno irá responder de forma diferente, consoante a sua heterogeneidade (Orellana, 1972). O comportamento físico das rochas depende das suas propriedades, modo de agregação dos minerais, forma volume e preenchimento dos poros, sendo a sua resistividade variável. No caso das rochas ígneas e metamórficas a resistividade varia entre 10^2 e $10^5 \Omega\text{m}$ (*ibidem*).

As vantagens da utilização deste método deve-se à sua rápida execução, não ser invasivo, pouco dispendioso mas que envolve alguma incerteza associada (Santos, 2012). Nos métodos de prospeção elétrica, distinguem-se os realizados em furos e os perfis de resistividade, realizados à superfície do terreno.

A profundidade de penetração da corrente aumenta com a separação dos elétrodos de corrente (Santos, 2012). Varia também com o teor em água do terreno e a sua concentração em sais condutores. O ruído é o que mais interfere nos resultados e estas interferências podem ser naturais ou devido a estruturas introduzidas em profundidade pelo homem, como tubos metálicos, pregagens, ancoragens, entre outros (*ibidem*).

No campo foi realizada prospeção geoeletrica com o objetivo de determinar as dimensões do traquito em profundidade e especular a viabilidade da sua exploração, tendo em conta a quantidade de material existente.

4. Enquadramento da área de estudo

O perfil de resistividade elétrica foi realizado ao longo de 140 metros, segundo a orientação indicada na figura 38, cujo desnível topográfico ronda os 7 metros e onde os espaçamentos entre eléctrodos correspondem a cerca de 5 metros, resultando num total de 25 estações. Tal disposição permitiu uma leitura até 30 metros de profundidade. Estes perfis foram posteriormente sujeitos a correções e tratamentos através dos *softwares* *Prosys* e *Res2dinv*.



Figura 38 - Localização geográfica do perfil geoeétrico realizado (Google, 2016)

No entanto, não foi possível proceder à realização do ensaio nos locais pretendidos devido a falta de autorizações e disponibilidade do equipamento, optando por realizar o perfil no terreno agrícola contíguo aos afloramentos de traquito de modo a compreender se este é contínuo em profundidade. Segundo a carta geológica o terreno onde se realizou o ensaio corresponde a calcários argilosos compactos (Fig. 39).

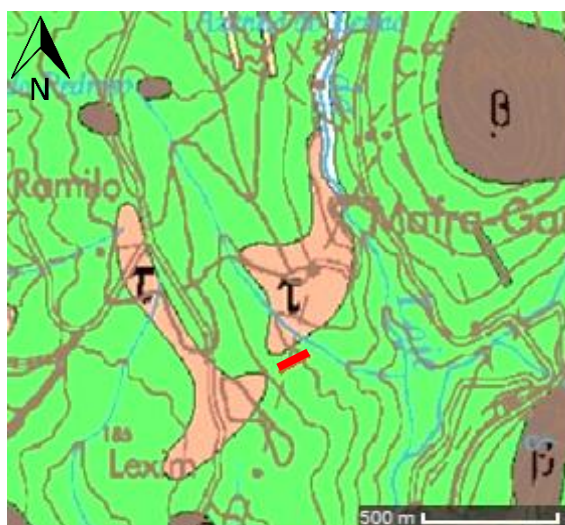


Figura 39 - Localização do perfil relativamente à geologia da região (Ramalho *et al.*, 2005)

4. Enquadramento da área de estudo

A preparação do ensaio consistiu na medição de distâncias no terreno e na desmatação do local onde se vieram a cravar o eléctrodos. Após as 25 estações prontas, os eléctrodos cravados no terreno foram ligados a um cabo conectado ao resistivímetro (figura 40 e 41), permitindo que os eléctrodos adquirissem corrente eléctrica e que a propagassem para o terreno em profundidade.

O aparelho utilizado para a realização do ensaio foi:

- Syscal Junior - Iris Instrument.

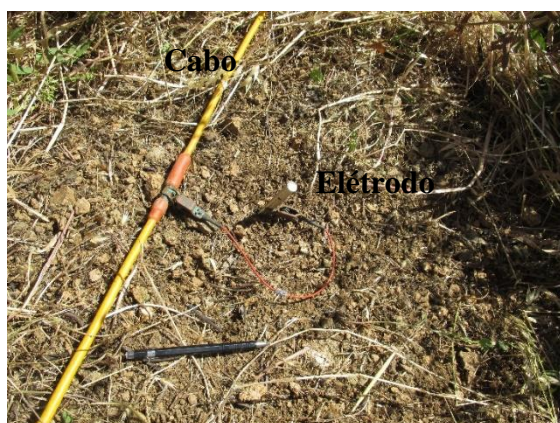


Figura 40 - Ligação do eléctrodo ao cabo numa das estações



Figura 41 - Resistivímetro durante a realização do ensaio

Os 25 eléctrodos cravados no terreno injetam corrente eléctrica e recebem-na alternadamente, obtendo os dados do terreno que foram armazenados e posteriormente tratados, recorrendo aos *softwares* atrás indicados.

4.2.1.1 Resultados obtidos

O perfil obtido através de dados DD (Dipolo-Dipolo) está representado na figura 42, onde é possível identificar uma camada de cobertura, nomeadamente solo agrícola, com uma resistividade baixa, desde o primeiro eléctrodo até meio do perfil e correspondendo a cotas inferiores no terreno. Os restantes eléctrodos, colocados no terreno a cotas mais elevadas, identificaram zonas com maiores resistividades, indicando a presença de rocha mais próxima da superfície e uma possível falha, também identificada na carta geológica (ver figura 39). Entre os 10 e os 25 metros de profundidade também foi detetado rocha com valores de resistividade elevados. Com estes resultados podemos inferir que as zonas encontradas com resistividades médias (a verde e amarelo)

4. Enquadramento da área de estudo

correspondam ao calcário e o traquito a zonas de resistividades superiores (a vermelho e roxo). Como o perfil foi realizado entre os dois afloramentos de traquito, é possível que este tenha continuidade em profundidade. Contudo e devido à incerteza do ensaio, não é possível verificar se as variações detetadas correspondem às diferentes litologias indicadas.

Para a confirmação destes resultados e determinação, com maior rigor, das dimensões do traquito em profundidade, sugere-se a realização de outros perfis com diferentes orientações e sondagens mecânicas, com recolha de testemunho.

4. Enquadramento da área de estudo

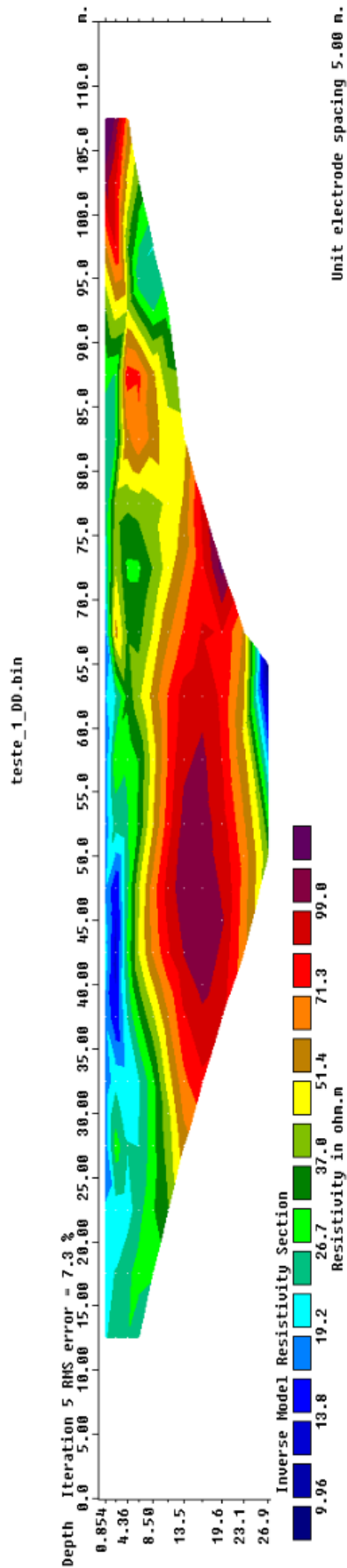


Figura 42 - Perfil de resistividade elétrica

5 Resultados experimentais e sua avaliação

5.1 Caracterização petrográfica

As três variedades de traquito encontradas na região foram analisadas macro e microscopicamente, através da lupa binocular e microscópio petrográfico, respetivamente. Foram analisadas lâminas delgadas, tendo em conta os minerais encontrados, a composição modal, sua cristalinidade, textura, contorno e cor.

Em termos macroscópicos, o TS apresenta uma textura afanítica porfírica com fenocristais de feldspato e é possível identificar grãos alongados de anfíbolos (fig. 44 – a, b). A cor permite a sua classificação como mesocrata, ou seja, apresenta composição intermédia de minerais claros e escuros, apresentando uma tonalidade acinzentada. Também é possível encontrar calcite em vesículas. Relativamente ao TA, este é idêntico ao anterior, variando apenas a cor que apresenta um tom amarelado. Por fim, o TM é o mais distinto deles, pois possui uma textura vítrea com grãos de calcite e é classificada também como uma rocha mesocrata mas mais escura que as anteriores (Fig 44 – e).

A descrição microscópica encontra-se resumida na tabela 7. O registo fotográfico consiste em imagens obtidas pelo microscópio petrográfico, utilizando uma ampliação de 5x, em nicóis cruzados e paralelos. Com os resultados obtidos e introduzidos no diagrama de Streckeisen (1976), na figura 43, confirmou-se a classificação da rocha vulcânica como um traquito. Para certificar estes resultados, são apresentados os resultados das análises mineralógicas no sub-capítulo seguinte, utilizando a técnica de difração de raios-X.

O TS e TA apresentam uma textura afanítica porfírica. A matriz é predominantemente feldspática, traquítica/fluidal, composta por matéria vítrea e microcristais de feldspato. Os minerais acessórios correspondem a 5%, onde se incluem os zeólitos (Fig 45 – g, h), a calcite (a preencher os vazios) e os opacos. Os minerais essenciais identificados correspondem a:

- Feldspatos potássicos: sanidina com macla de Carlsbad (Fig. 45 – a, b);
- Plagioclase: maclas de albite com zonamento (Fig. 45 – c, d);
- Anfíbolos (Fig. 45 – e, f);
- Biotite (Fig. 45 – a, b).

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Tabela 7 - Síntese dos parâmetros petrográficos

Parâmetros / Amostra	TS	TA	TM
Textura	Afanítica porfírica	Afanítica porfírica	Vítrea
Cristalinidade	Hipocristalina	Hipocristalina	Hialina
Minerais essenciais	Feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos, biotite	Feldspato potássico, plagioclase, anfíbolos, biotite	-
Minerais acessórios	Zeólitos, calcite, opacos	Zeólitos, calcite, Opacos	Calcite
Forma dos minerais	Subédricos	Subédricos	Subédricos
Composição Modal	70% Feldspato potássico 15% Plagioclase 10% Anfíbolos 5% Biotite	70% Feldspato potássico 15% Plagioclase 10% Anfíbolos 5% Biotite	95 % Matriz (microcristais de feldspato)

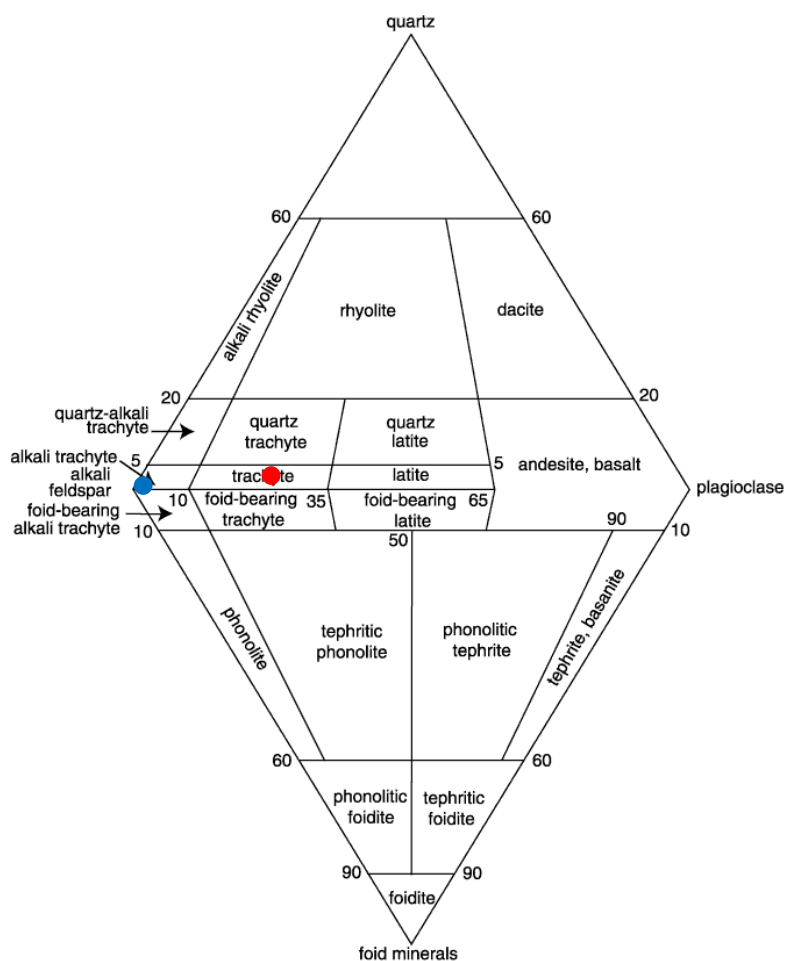


Figura 43 - Localização da rocha em estudo, segundo a análise petrográfica, no diagrama de Streckeisen (1976). (Adaptado de Le Maitre, 1989).

A vermelho: classificação do TS e TA; a azul: classificação do TM

5. Resultados experimentais e sua avaliação

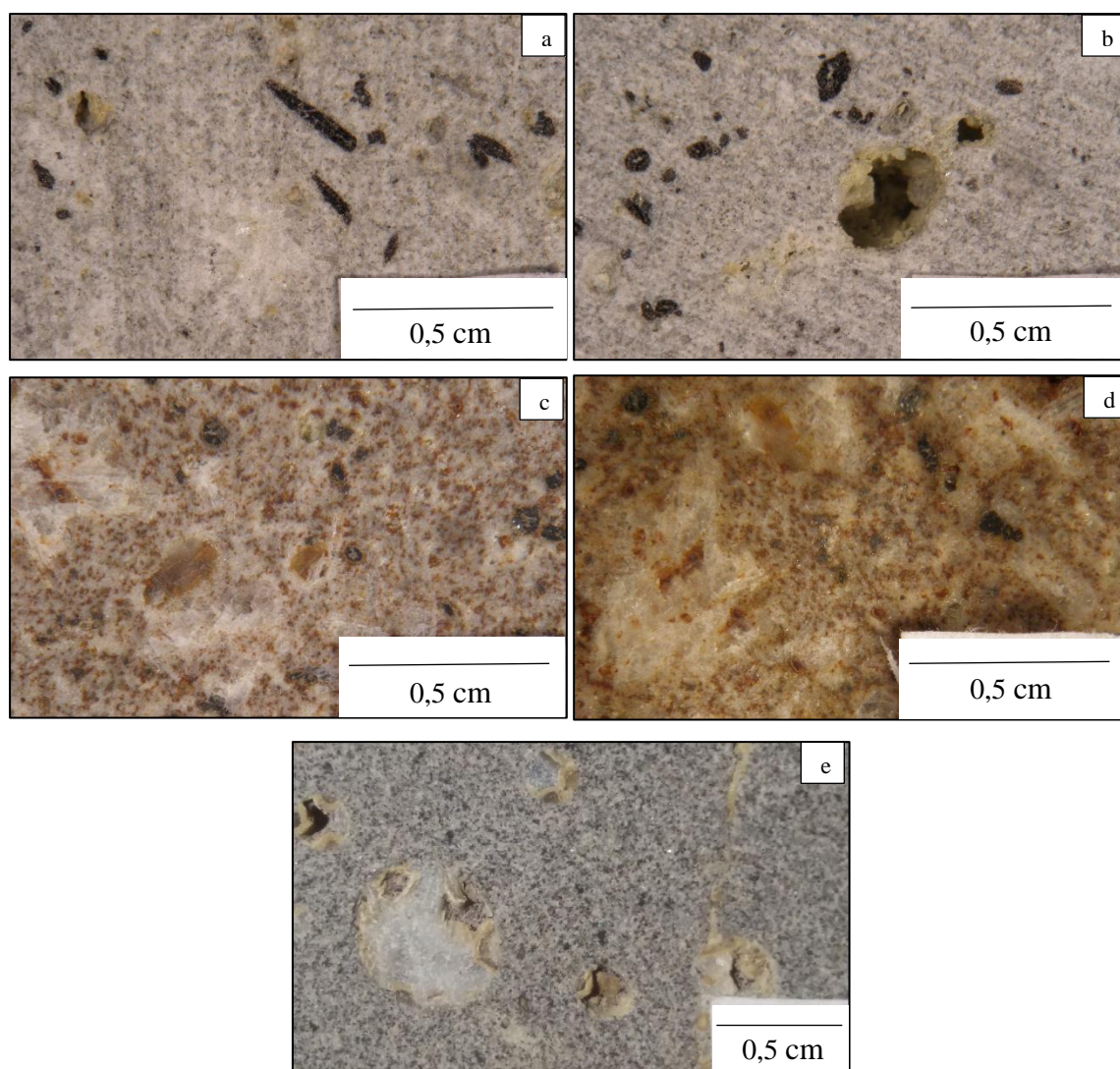


Figura 44 - Aspectos macroscópicos do traquito: a e b correspondem ao traquito “são”; c e d correspondem ao traquito “alterado”; e corresponde ao traquito “mula”

5. Resultados experimentais e sua avaliação

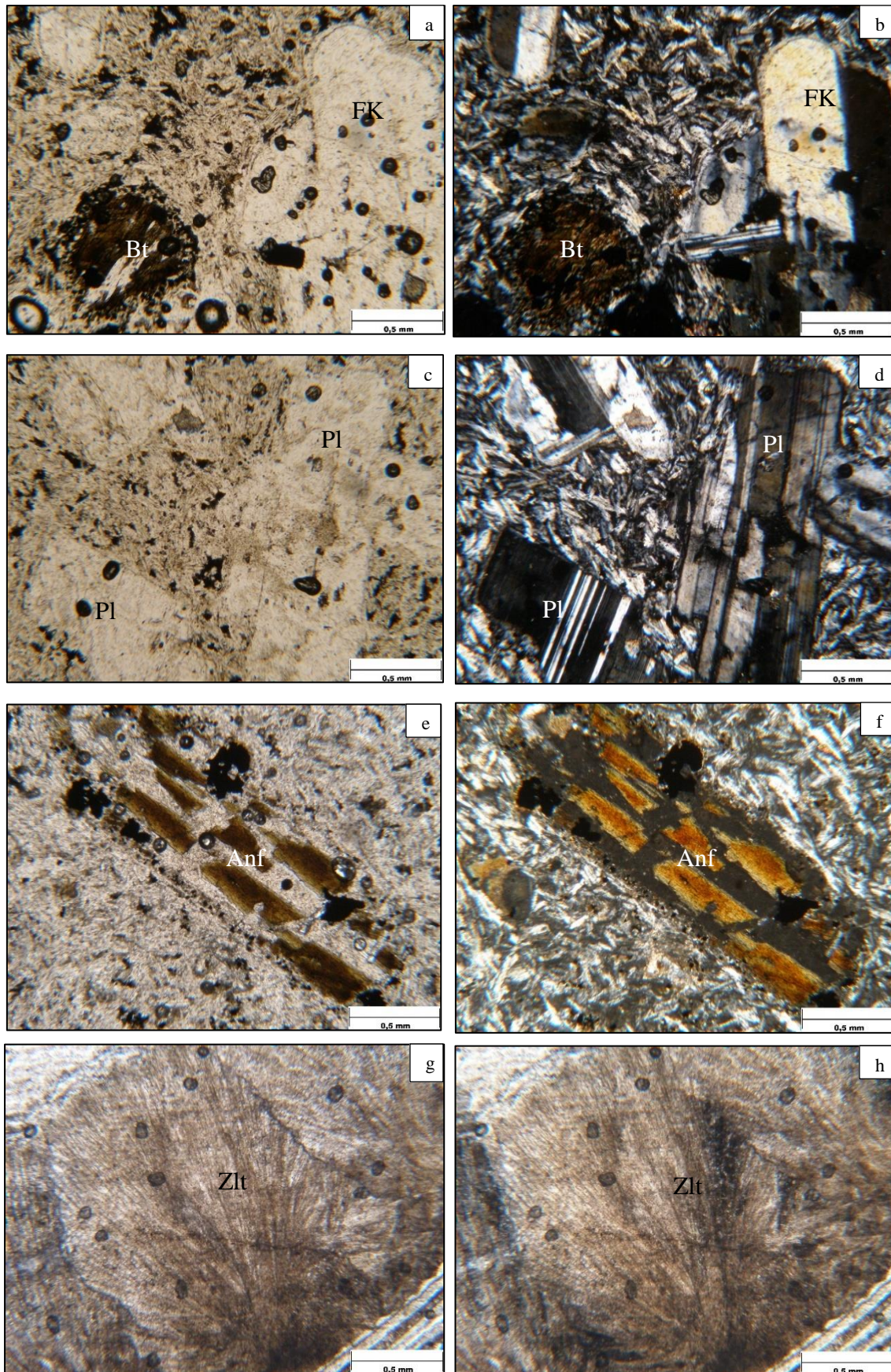


Figura 45 - Aspectos petrográficos do TS, em nicóis // à esquerda e X à direita. FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola; Zlt: Zeólito.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

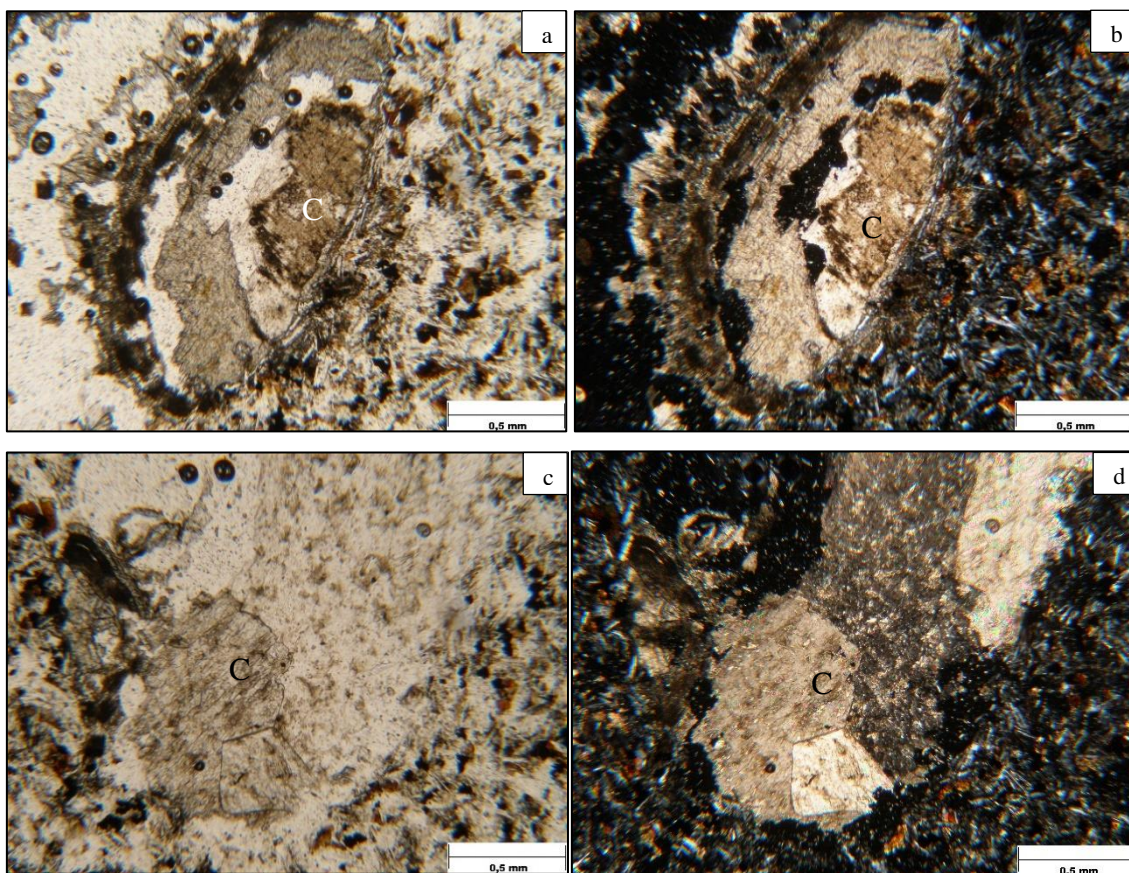


Figura 46 - Aspectos petrográficos do TM com calcite, em nicóis // à esquerda e X à direita

C: Calcite

Na variedade TM além da matriz, composta por matéria vítrea e microcristais de feldspato, só foram identificadas calcites (Fig. 46), que surge no preenchimento dos vazios da rocha.

Não foram apresentadas imagens dos aspectos petrográficos da variedade TA, visto esta ser idêntica à variedade TS, em termos mineralógicos e texturais, tendo-se apenas detetado pequenas alterações nos feldspatos, o que justifica a variação da tonalidade da rocha.

5.2 Análise mineralógica

5.2.1 Difração de raios-X (DRX)

Este ensaio foi realizado para as três variedades de traquito (TS, TA e TM). Em seguida estão representados os gráficos dos resultados obtidos, os difratogramas, os quais foram analisados de forma a identificar qual a composição mineralógica das amostras.

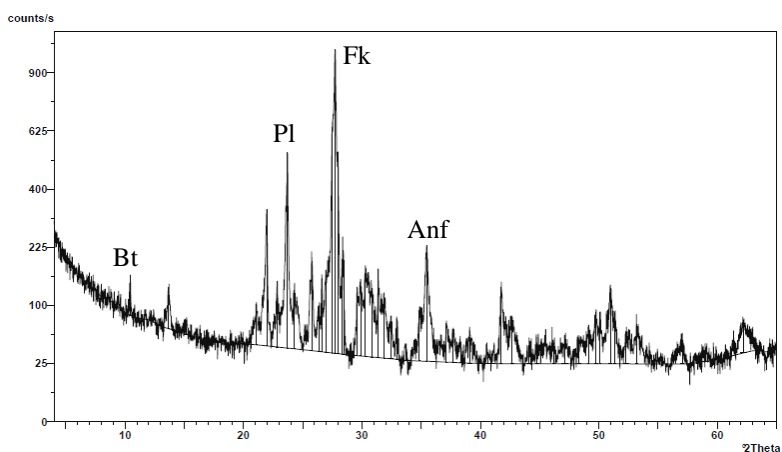


Figura 47 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TS.

FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola

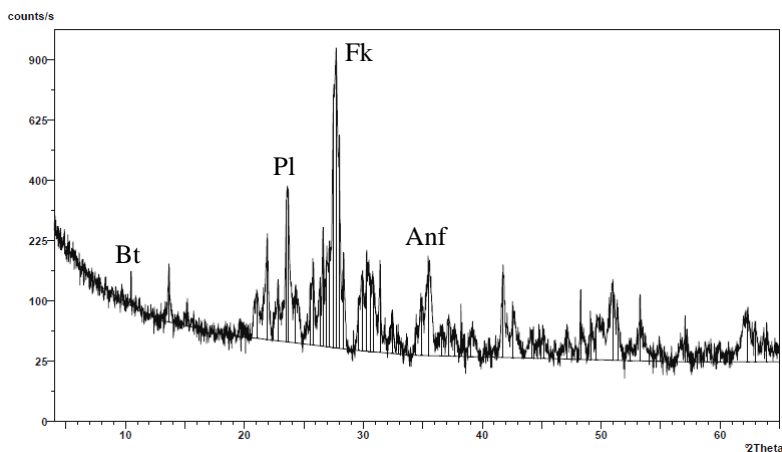


Figura 48 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TA.

FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola

5. Resultados experimentais e sua avaliação

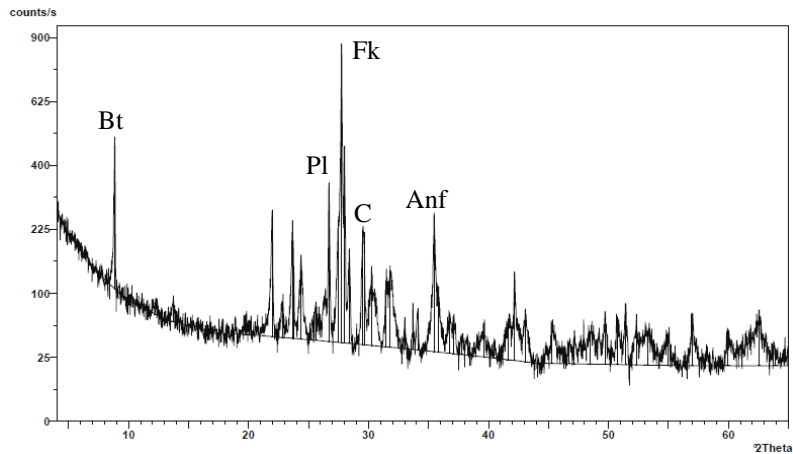


Figura 49 - Difratograma obtido para o ensaio de difração de raios-X na amostra TM.

FK: Feldspato potássico; Bt: Biotite; Pl: Plagioclase; Anf: Anfíbola; C: Calcite

Pode verificar-se que não existe muita variação mineralógica entre as amostras, sendo o TS e o TA são os mais semelhantes. O TM apresenta maior concentração de micas (biotites) e calcite.

Através deste método confirmou-se a ausência de quartzo nas amostras. Os feldspatos correspondem aos minerais que aparecem em maior abundância, correspondendo ao pico mais elevado dos difratogramas.

Através da análise dos resultados foi possível realizar uma semi-quantificação dos minerais encontrados nas amostras, recorrendo à metodologia proposta por Galhano *et al.* (1999).

- TS: Feldspato 58%; Plagioclase 20%; Biotite 3%; Anfíbolos 19%;
- TA: Feldspato 63%; Plagioclase 19%; Biotite 7%; Anfíbolos 11%;
- TM: Feldspato 44%; Plagioclase 16%; Biotite 10%; Anfíbolos 17%; Calcite 12%.

Os valores coincidem com os da caracterização petrográfica, exceto o caso do TM, porque a maioria dos minerais encontram-se na matriz e não foram identificados em lâmina delgada, no microscópio.

5.3 Análise da cor

A análise de cor foi realizada com o objetivo de comparar as variações de cor nas diferentes amostras, tanto em amostra sólida-seca e sólida-húmida, como amostra moída.

A amostra sólida encontra-se serrada e ao humedece-la, esta adquire os tons de quando se aplica o acabamento polido, resultando na comparação de cor entre o TS húmido e o TS seco e o mesmo para a outra variedade de rocha.

A medição em amostra moída permite determinar qual a prevalência da cor das amostras, visto estas apresentarem minerais de diferentes cores e o facto do aparelho de medição abranger apenas uma pequena área, resultando na comparação entre as diferentes amostras moídas.

No total foram efetuadas 36 medições, cujos valores encontram-se no anexo A.1, a partir dos quais se obteve as variações cromáticas médias indicadas na tabela 8.

Tabela 8 - Variações cromáticas médias dos traquitos. Branco: $L^* = 93,99$; $a^* = -0,06$; $b^* = 3,38$

Comparações	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
TA – TS Sólido seco	-2,73	2,37	4,89	6,08
TS Húmido - Seco	-21,45	-0,22	2,85	21,64
TA Húmido - Seco	-29,28	2,63	5,38	29,89
TA – TS Moído	2,88	4,63	19,78	20,51

Analisando os dados da tabela 8 é possível concluir que:

- TA sólido e seco apresenta uma cor mais escura, relativamente ao TS ($\Delta L^* < 0$);
- TS sólido e húmido é mais escuro em relação ao seu estado seco;
- TA sólido e húmido sofreu um escurecimento em relação ao estado seco, sendo o que apresentou maior variação de cor (maior ΔE^*);
- TA moído apresenta uma cor mais clara ($\Delta L^* > 0$) e um aumento da tonalidade amarela ($\Delta b^* > 0$), quando comparado com o TS moído.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Em geral e como era de esperar, o traquito apresenta uma tendência para tons cinzentos e escurece na presença de água (simulando o seu polimento). A diferença entre o TS e TA corresponde a cores mais escuras e amareladas (Fig. 50).

Adicionalmente, foram mergulhadas amostras de TS durante dois meses em água da torneira, sendo que estas adquiriram uma tonalidade semelhante à do TA. Concluindo-se que o material, na presença prolongada de água altera a sua tonalidade.

Estes fatores podem ser determinantes, visto as características visuais terem um grande impacto na escolha da rocha ornamental.

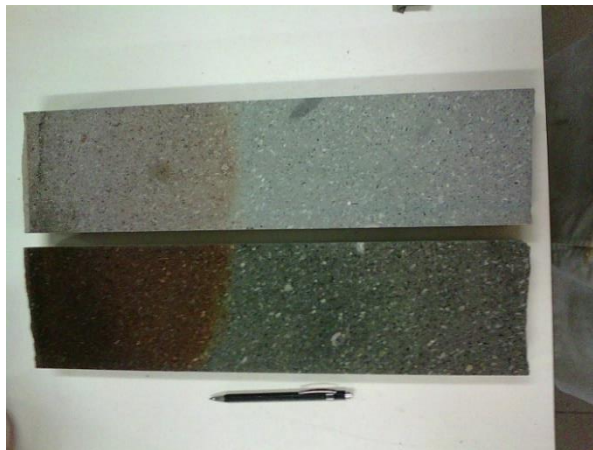


Figura 50 - Placa de traquito com variação de TA para TS (da esquerda para a direita), em cima a seco e em baixo húmido.

5.4 Ensaios físico-mecânicos

Estes ensaios pretendem avaliar o desempenho da rocha nas mais diversas solicitações a que esta poderá estar sujeita em obra. Foram realizados segundo os procedimentos descritos anteriormente em 3.2.3.

A variedade de rocha que se pretende caracterizar corresponde ao TS, exceto alguns casos onde se utilizaram as três variedades, isto porque o objetivo do trabalho é caracterizar o traquito “são” e a existência de um número reduzido de amostras das restantes variedades, não permitiu um estudo de todos os parâmetros.

Para a comparação e interpretação dos resultados obtidos são adotados os valores sugeridos por Moura (2000) para os granitóides ornamentais portugueses e o relatório de ensaios da Pedra de Porto Formoso, correspondendo a um traquito cinzento claro, proveniente de São Miguel (Açores) e utilizado como rocha ornamental na região (INETI, 2008).

5. Resultados experimentais e sua avaliação

5.4.1 Índices físicos

Os índices físicos incluem a absorção de água à pressão atmosférica (Ab), massa volúmica aparente (Ma), porosidade aberta (PA) e coeficiente de absorção de água por capilaridade (C1). Os valores das pesagens que permitiram o cálculo destes parâmetros encontram-se no anexo A.2 e A.3.

As amostras utilizadas consistiram nas três variedades de traquito, onde apenas as amostras de TM não consistiram em cubos de 50 mm. Na tabela seguinte encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios físicos para as três variedades de traquito e média dos valores tabelados. Ab = Absorção de água à pressão atmosférica, Ma = Massa volúmica aparente, PA = Porosidade aberta

Parâmetros/ Amostras		Ab (%)	Ma (kg/m ³)	PA (%)
TS (12)	Média	3,3	2418	8,0
	Desvio	0,21	19,95	0,45
	Padrão			
TA (6)	Média	3,6	2412	8,6
	Desvio	0,74	27,06	1,67
	Padrão			
TM (6)	Média	5,2	2445	12,7
	Desvio	0,68	41,10	1,48
	Padrão			
Moura (2000)		0,15	2827	0,42
Porto Formoso	Média	4,7	2220	9,4
	Desvio	0,32	14,91	0,28
	Padrão			

Comparando os resultados da tabela 9 para os três traquitos ensaiados, pode concluir-se que o TM é o que apresenta valores mais díspares de absorção de água à pressão atmosférica e porosidade aberta, sendo que neste último parâmetro o valor é muito superior. Relativamente à massa volúmica aparente, os resultados tendem a manter-se próximos, nas três variedades.

De forma a comparar melhor os resultados obtidos com os valores tabelados, foram elaborados os gráficos das figuras 51 e 52, de onde se pode concluir que o traquito apresenta uma elevada absorção de água e quantidade de vazios.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

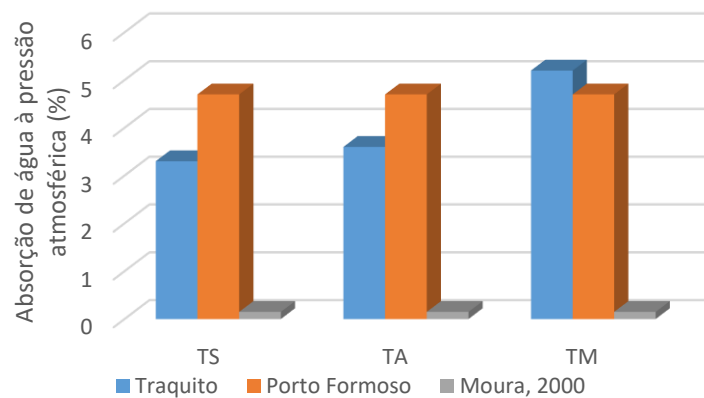


Figura 51 - Gráfico da variação de absorção de água à pressão atmosférica para as três variedades de traquito e comparação com valores tabelados

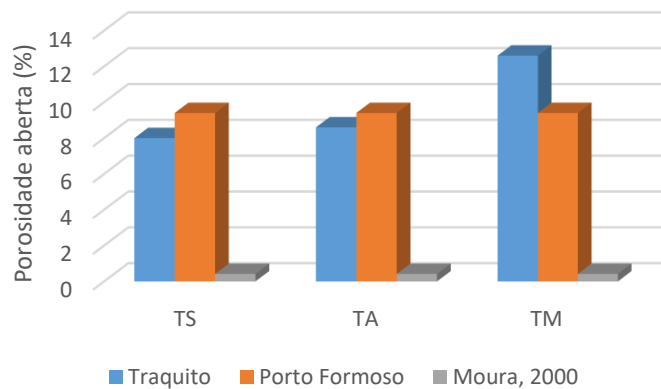


Figura 52 - Gráfico da variação de porosidade aberta para as três variedades de traquito e comparação com valores tabelados

Relativamente ao coeficiente de absorção de água por capilaridade, no gráfico da figura 53, é possível identificar que, no geral, todos os provetes apresentaram um comportamento semelhante, com tendência a estabilizar a partir de um determinado período de tempo.

Após a análise de resultados, consideraram-se as primeiras sete medições de cada provete, ou seja, até às pesagens realizadas ao fim de 1h de ensaio, pertencendo à parte inicial da curva de absorção (Fig. 54). Foi adotado este valor por ser o que apresenta maior coeficiente de correlação (R^2) entre os pontos.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

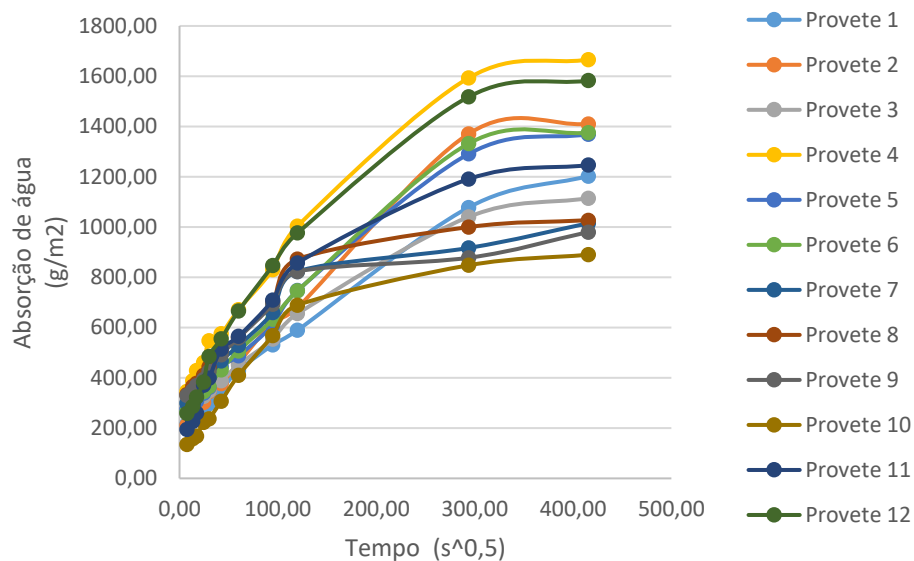


Figura 53 - Curvas de absorção de água por capilaridade para os doze provetes de TS

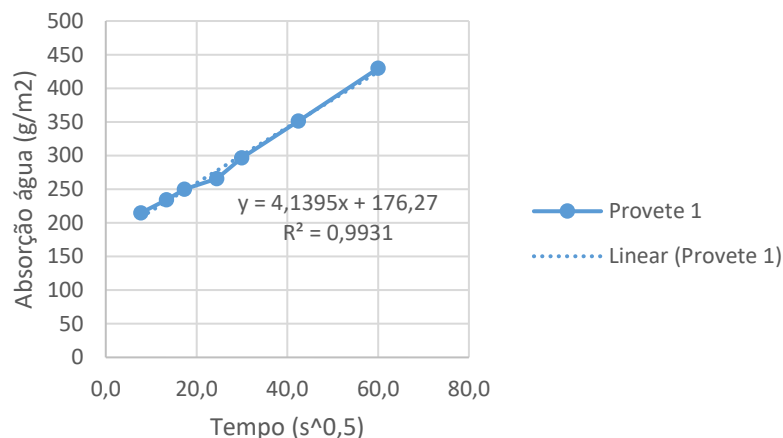


Figura 54 - Troço reto da curva de absorção de água por capilaridade, correspondendo às primeiras sete medições do provete 1

Utilizando os pontos referidos, foi obtido o coeficiente de absorção de água (C1) através das inclinações das retas para cada provete. Os valores médios obtidos estão indicados na tabela seguinte.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Tabela 10 - Resultados do coeficiente de correlação e absorção de água por capilaridade para os 12 provetes ensaiados, tendo em conta apenas as primeiras sete medições e média dos valores tabelados

Parâmetros / Amostra		R ²	C1 (g/m ² .s ^{0,5})
TS (12)	Média	0,98	5,17
	Desvio	0,01	1,4
	Padrão		
Moura (2000)		-	<25

Assim, conclui-se que o traquito apresenta um coeficiente de absorção de água por capilaridade dentro dos parâmetros tabelados para os granitóides ornamentais portugueses, de Moura (2000).

5.4.2 Resistência à compressão uniaxial (Ru)

Os valores para o cálculo deste parâmetro estão registados no anexo A.4 e na tabela 11 estão resumidos os resultados obtidos, a média de valores tabelados e o resultado de outro traquito utilizado como rocha ornamental.

Tabela 11 - Resultados da resistência à compressão uniaxial para os 10 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		Ru (MPa)	Ru (kg/cm ²)
TS (10)	Média	126	1288
	Desvio	11	116
	Padrão		
Moura (2000)		136	1382
Porto Formoso	Média	81	827
	Desvio	3	28
	Padrão		

Pode verificar-se que resistência à compressão uniaxial do traquito apresenta um valor semelhante aos granitóides ornamentais portugueses de Moura (2000). Relativamente à pedra de Porto Formoso dos Açores, o TS apresenta uma resistência muito superior, tal como mostra o gráfico da figura 55.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

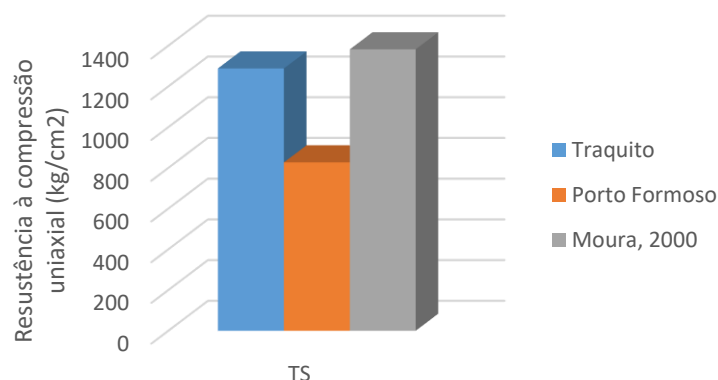


Figura 55 - Gráfico da resistência à compressão uniaxial obtida para o TS e comparação com valores tabelados

Assim, pode considerar-se que o traquito apresenta uma elevada resistência à compressão uniaxial.

5.4.3 Resistência à flexão sob carga centrada (R_c)

Os resultados obtidos para o cálculo deste parâmetro físico-mecânico encontram-se resumidos na tabela 12, tendo como base nos registos do anexo A.5.

A rutura ocorreu, em geral, no centro dos provetes, através de um plano com orientação próxima da vertical.

Tabela 12 - Resultados da resistência à flexão sob carga centrada para os 18 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		R_c (MPa)	R_c (kg/cm ²)
TS (18)	Média	12,7	127
	Desvio Padrão	0,5	5
Moura (2000)		24	242
Porto Formoso	Média	13,6	129
	Desvio Padrão	1,1	11

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Segundo os resultados da tabela 12, verifica-se que o traquito, em relação aos granitóides ornamentais portugueses de Moura (2000) apresenta um valor muito inferior mas quando comparado com a pedra de Porto Formoso, apresenta uma resistência semelhante, tal como está representado no gráfico da figura 56.

Contudo, as especificações indicam que as rochas são aptas às mais diversas aplicações quando apresentam valores superiores a 105 kg/cm^2 (Pinto *et al.*, 2006).

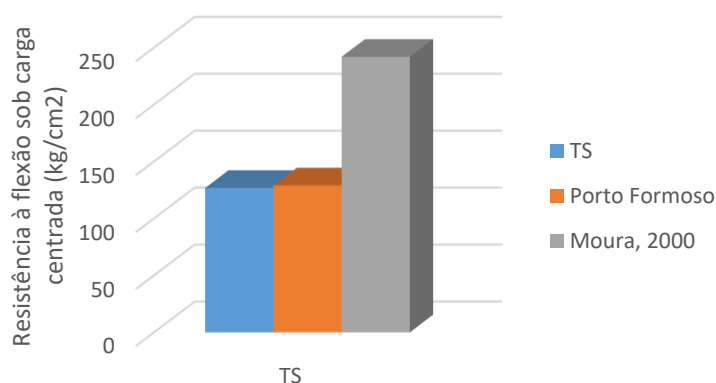


Figura 56 - Gráfico da resistência à flexão sob carga centrada obtida para o TS e comparação com valores tabelados

5.4.4 Determinação da velocidade de propagação de ultrassons (V)

Os registos dos valores obtidos durante a realização deste ensaio encontram-se no anexo A.6. Após o tratamento dos dados obtidos, os valores calculados estão resumidos na tabela 13. Considera-se, através deste ensaio, que o traquito apresenta uma velocidade média de propagação de ondas sonoras de 2567 m/s , um valor baixo quando comparado com o basalto que apresenta valores médios entre 4500 e 6000 m/s , indicado que a rocha apresenta um elevado número de vazios no seu interior.

Tabela 13 - Resultados da velocidade de propagação de ultrassons em 8 provetes ensaiados

Parâmetros/ Amostra		t (µs)	V (m/s)
TS (8)	Média	19,6	2567
	Desvio	1,2	155
	Padrão		

Este valor irá servir como critério de comparação para provetes submetidos a ensaios de alteração, de forma a identificar o grau de deterioração interno.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

5.4.5 Resistência ao gelo (Rg)

Após os 80 ciclos de gelo-degelo, determinou-se a perda de massa percentual (ΔM), as velocidades da propagação do som (V) e resistência à compressão uniaxial (Ru), de forma a avaliar a alteração ocorrida nos provetes, cujos valores encontram-se registrados no anexo A.7 e resumidos na tabela 14.

Tabela 14 - Resultados da perda de peso percentual, velocidade de propagação do ultrassons e resistência à compressão uniaxial, em 12 provetes para o ensaio de resistência ao gelo-degelo e a média dos valores tabelados.

Parâmetros/ Amostra		ΔM (%)	V (m/s)	Ru (MPa)	Ru (kg/cm ²)
TS (12)	Média	1,5	2565	111	1136
	Desvio Padrão	0,6	130	18	180
Moura, 2000		-	-	136	1382
Porto Formoso	Média	-	-	81	827
	Desvio Padrão			3	28
TS original	Média	-	2567	126	1288

Verifica-se que ocorreu uma pequena perda de peso, cerca de 1,5%, o que significa que os provetes, após 80 ciclos apresentam uma boa resistência ao ensaio de gelo-degelo.

Posteriormente foi analisada a velocidade de propagação do som (V), que comparado com o valor considerado anteriormente em 5.4.4, detetou-se um decréscimo inferior a 1%. Este resultado indica que a rocha não sofreu alterações significativas com os ciclos de gelo-degelo.

Por fim, os provetes foram testados quanto à sua resistência à compressão uniaxial (Ru) e ao comparar com os resultados obtidos em 5.4.2, estes sofreram um decréscimo de 13%, um valor que continua superior ao do traquito dos Açores, sem este ensaio de gelividade.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

5.4.6 Resistência ao desgaste com máquina de Capon (Rd)

Após a realização do ensaio, durante 60 segundos em cada provete, foram marcados os limites da calote produzida e medidas as distâncias (Anexo A.8). O resultado da resistência ao desgaste com máquina de Capon encontra-se na tabela 15.

Tabela 15 - Resultados da resistência ao desgaste com máquina de Capon para os 6 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		Rd (mm)
TS (6)	Média	17
	Desvio Padrão	0,6
Moura (2000)		< 16
Porto Formoso	Média	23
	Desvio Padrão	1,1

Todos os ensaios realizados foram considerados, pois as calotes apresentaram uma obliquidade média de cerca de 95%.

O traquito apresenta uma resistência ao desgaste elevada, relativamente ao valor tabelado de Moura (2000) mas quando comparado com a pedra de Porto Formoso apresenta uma menor resistência a este parâmetro.

5.4.7 Resistência à ancoragem (Ra)

Para a realização deste ensaio foi rejeitado um furo em cada provete, devido à sua elevada inclinação, resultando num total de doze furos a serem ensaiados.

Após a realização do ensaio foram feitas as medições estabelecidas e obtiveram-se os resultados da tabela 16, consoante os registos do anexo A.9.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Tabela 16 - Resultados da resistência à ancoragem para os 4 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		bA (mm)	Ra (kg)	Ra (N)
TS (4)	Média	38,2	232	2271
	Desvio Padrão	5,2	62	624
Moura (2000)		-	-	> 500

Os doze furos ensaiados permitiram obter um valor médio de resistência à ancoragem de 2271 N. Assim, considera-se que o traquito apresenta uma elevada resistência a solicitações deste nível, segundo a classificação de Moura (2000).

5.4.8 Resistência ao choque (Rq)

Após preparar o esquema de montagem, procedeu-se à realização do ensaio, começando pelo provete de controlo, a uma altura de queda da esfera de 100 mm, atingindo a rutura aos 600 mm (*ht*). O registo do ensaio encontra-se no anexo A.10, a partir dos quais se obteve os dados da tabela 17.

Tabela 17 - Resultados da resistência à rutura para os 7 provetes ensaiados e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		hi (mm)	Rq (J)
TS (7)	Média	642	6
	Desvio Padrão	34	0,3
Moura (2000)		-	3 - 10
Porto Formoso	Média	400	4
	Desvio Padrão	40	0,4

A partir dos dados indicados na tabela 17, o traquito apresenta uma elevada resistência ao choque quando comparado com os valores tabelados de Moura (2000) e com a pedra de Porto Formoso.

5.5 Ensaio de alteração

5.5.1 Sensibilidade a alterações de aspeto produzida por ciclos térmicos

Após os 60 ciclos, os oito provetes apresentaram um escurecimento e apenas três formaram pequenas manchas, como as da figura 57. A alteração ocorrida classificou-se como sendo uma oxidação do tipo T2. Relativamente a outras alterações que ocorreram, foi obtida a perda de peso após o ensaio e as alterações das dimensões dos provetes, indicadas na tabela 18, consoante os registos expressos no anexo B.1.

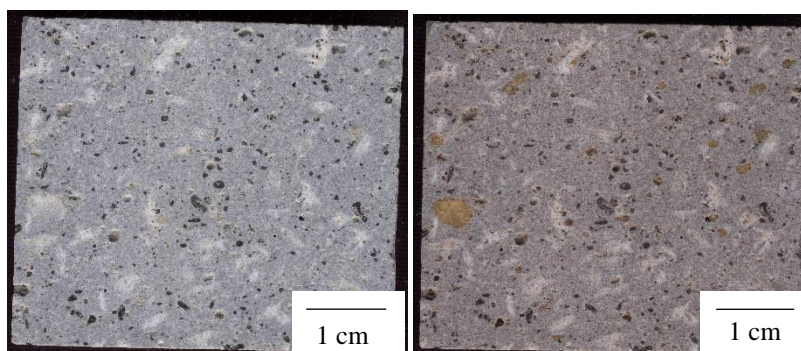


Figura 57 - Amostra antes do ensaio (à esquerda) e após os 60 ciclos térmicos (à direita)

Tabela 18 – Perda de peso percentual das amostras e variação das suas dimensões em resultado dos ciclos térmicos.

Propriedades/ Amostras		ΔM (%)	ΔL (%)	ΔA (%)	ΔE (%)
TS (8)	Média	0,25	-0,11	0,16	-1,58
	Desvio Padrão	0,03	0,37	0,21	1,32

Conforme os resultados obtidos conclui-se que, em média, os provetes perderam 0,25% do seu peso inicial. A dimensão mais afetada foi a espessura (ΔE), a qual diminuiu cerca de 1,5% e a altura (ΔA) sofreu um aumento de 0,16%. Estes valores sugerem que ocorreram pequenos rearranjos internos (dilatações e retrações) em resultado dos ciclos térmicos a que os provetes estiveram sujeitos, justificando as variações de peso e das dimensões dos provetes.

Assim, pode classificar-se o traquito como um material pouco sensível a grandes amplitudes térmicas, relativamente aos aspetos visuais.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

5.5.2 Resistência ao nevoeiro salino

Ao todo foram realizados 226 ciclos de nevoeiro salino, com cinco intervalos de pesagem, correspondendo a interrupções para determinação dos índices físicos dos provetes, cujos resultados encontram-se no anexo B.2.

A perda de peso dos provetes ao longo dos ciclos está representada na figura 58. É possível identificar que os provetes perderam no final do ensaio cerca 3% da sua massa (% acumulada). A maior variação de perda de peso ocorreu entre o primeiros dois intervalos, correspondendo a 30 dias no interior da câmara e as seguintes variações de peso não foram tão substanciais, acabando por começar a apresentar uma tendência para estabilizar (% absoluta).

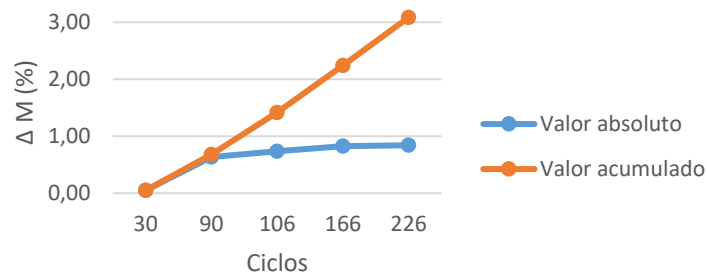


Figura 58 – Variação absoluta e acumulada da perda de peso dos provetes ao longo dos ciclos do ensaio de resistência ao nevoeiro salino

Relativamente ao estudo da absorção de água e porosidade aberta, o comportamento dos provetes ao longo dos ciclos está representado no gráfico da figura 59. Em ambos os casos ocorreu uma diminuição dos dois parâmetros, com maior incidência na porosidade aberta, com cerca de 48%. Estes resultados devem-se à incorporação do sal no interior da rocha, que preencheram os vazios, resultando num decréscimo de cerca de 30% da absorção de água.

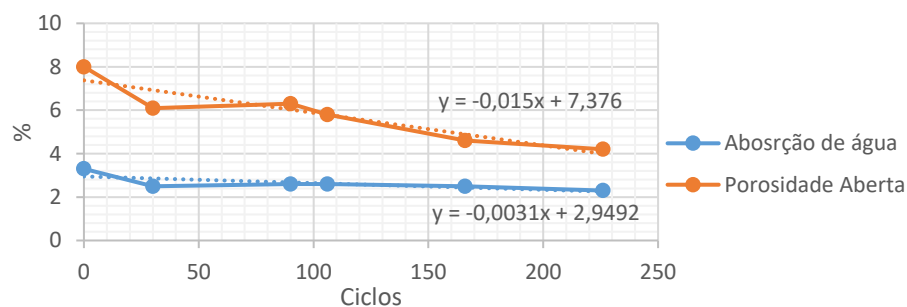


Figura 59 - Variação absoluta da absorção de água e porosidade aberta dos provetes ao longo dos ciclos do ensaio de nevoeiro salino

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Após os ciclos de nevoeiro salino, os provetes foram sujeitos à determinação da velocidade de propagação de ultrassom e à compressão uniaxial, de modo a compreender de que forma é que o ensaio de alteração influenciou o comportamento mecânico da rocha. Os valores obtidos estão resumidos na tabela 19.

Tabela 19 - Resultados da velocidade de propagação de ultrassons e resistência à compressão uniaxial, nos 11 provetes para o ensaio de resistência ao nevoeiro salino e a média dos valores tabelados.

Parâmetros/ Amostra		V (m/s)	Ru (MPa)	Ru (kg/cm ²)
TS (11)	Média	2911	95	972
	Desvio padrão	399	22	221
Moura (2000)		-	136	1382
Porto Formoso	Média	-	81	827
	Desvio padrão		3	28
TS original		2567	126	1288

Os resultados permitem concluir que os ciclos de nevoeiro salino proporcionaram um aumento da velocidade de propagação do som, cerca de 13%, devido à alteração provocada pela incorporação de sal nos vazios da rocha, relativamente às amostras ensaiadas em 5.4.4. Na análise da resistência à compressão uniaxial verificou-se um decréscimo de cerca de 25%, quando comparado com o traquito não sujeito a ensaios de alteração (parâmetro obtido em 5.4.2).

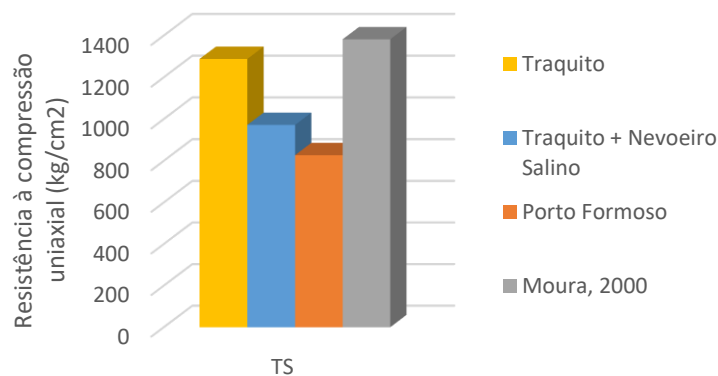


Figura 60 - Gráfico da variação da resistência à compressão uniaxial do TS após ensaio de nevoeiro salino e comparação com valores tabelados

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Através do gráfico da figura 60 é possível verificar que a alteração provocada pelos ciclos de nevoeiro salino proporcionaram uma diminuição da resistência à compressão uniaxial, quando comparado com o resultado obtido para o traquito não sujeito a ensaios de alteração. Relativamente à pedra de Porto Formoso, o traquito apresenta uma resistência superior mas quando comparado com os granitóides ornamentais portugueses de Moura (2000), apresenta um valor 30% inferior. A nível visual detetou-se a alteração de cor dos fenocristais de feldspato (Fig. 61).

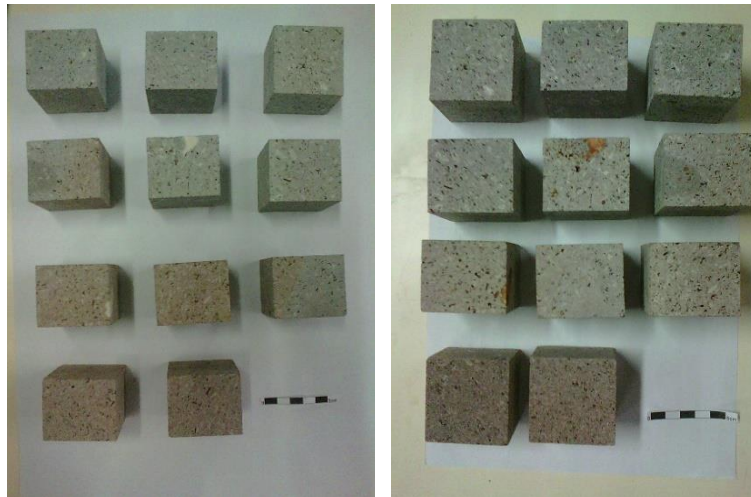


Figura 61 - Amostras de traquito antes (esquerda) e após (direita) o ensaio de nevoeiro salino

5.5.3 Resistência à cristalização de sais

Os quatro provetes submetidos ao ensaio de resistência à cristalização de sais variaram de peso ao longo dos 15 ciclos, conforme se observa no gráfico da figura 62, onde é possível identificar que em todos os provetes a tendência é o aumento do peso.

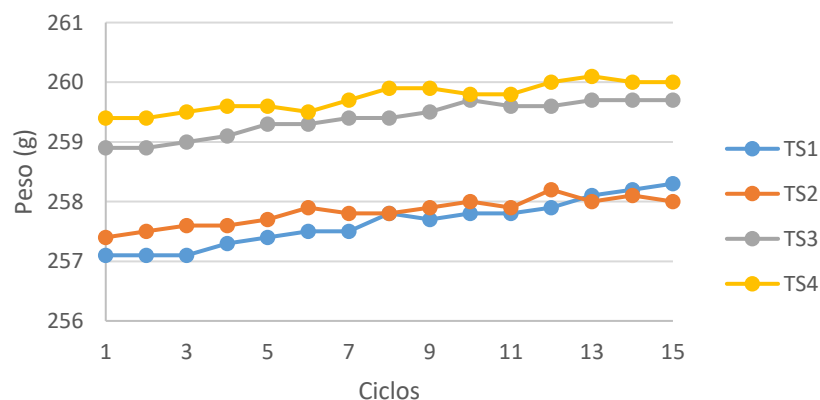


Figura 62 – Variação absoluta do peso dos provetes de traquito ao longo do ensaio de cristalização de sais

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Para compreender de que forma este ensaio comprometeu o desempenho da rocha, os provetes foram sujeitos ao ensaio de velocidade de propagação de ultrassons e de resistência à compressão uniaxial (Anexo B.3).

Tabela 20 - Resultados da variação de peso percentual, velocidade de propagação de ultrassons e resistência à compressão uniaxial, nos 4 provetes para o ensaio de resistência à cristalização de sais e a média dos valores tabelados

Parâmetros/ Amostra		ΔM (%)	V (m/s)	Ru (MPa)	Ru (kg/cm ²)
TS (4)	Média	0,27	3561	54	552
	Desvio Padrão	0,08	385,5	5	50
Moura (2000)		-	-	136	1382
Porto Formoso	Média	-	-	81	827
	Desvio Padrão			3	28
TS original		-	2567	126	1288

Conforme os valores da tabela 20, peso das amostras aumentou cerca de 0,27%, devido à absorção dos sais pela rocha, ao fim dos 15 ciclos.

A velocidade de propagação de ultrassons aumentou, cerca de 39%, em resultado do preenchimento dos vazios no interior dos provetes pelos sais.

Relativamente à resistência à compressão uniaxial, este valor sofreu um decréscimo acentuado de cerca de 57%, quando comparado com o valor obtido para amostras não submetidas a ensaios de alteração (Fig. 63).

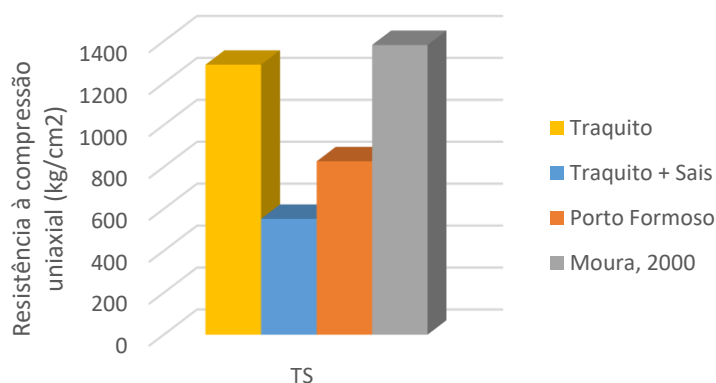


Figura 63 - Gráfico da variação da resistência à compressão uniaxial do TS após ensaio de resistência à cristalização de sais e comparação com valores tabelados

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Em geral, a rocha apresentou uma boa resistência à cristalização de sais, permanecendo intacta e ocorrendo o aumento do seu peso. Contudo, a resistência à compressão uniaxial sofreu alterações significativas, comprometendo a sua utilização em obra. A nível visual não se detetaram alterações (Fig. 64).



Figura 64 - Amostras de traquito antes (esquerda) e após (direita) o ensaio de resistência à cristalização de sais

5.5.4 Lixiviação contínua com extrator de Soxhlet

No fim de cada ciclo de 500 horas, as amostras de traquito foram secas e pesadas de modo a monitorizar a alteração ocorrida ao longo dos cinco ciclos de ensaio, cujos resultados encontra-se no anexo B.4. Assim obteve-se o gráfico da figura 65 onde é possível verificar que nas três amostras de traquito a tendência é a diminuição de peso. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela 21.

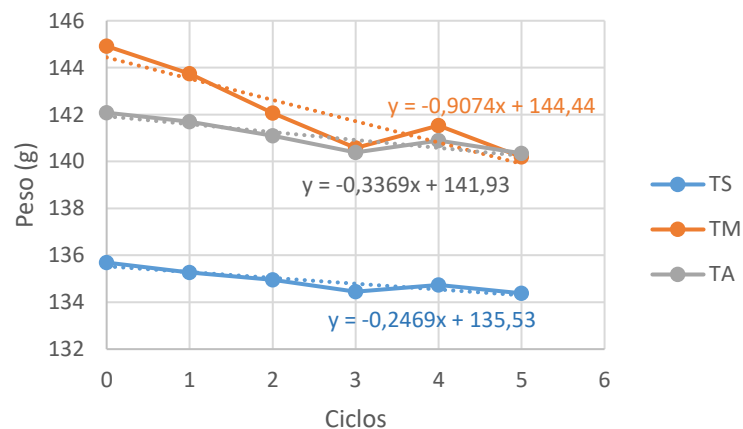


Figura 65 – Variação absoluta de peso das amostras de traquito ao longo dos ciclos de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Tabela 21 - Resultados da perda de peso percentual das amostras e total de material filtrado do lixiviado, no final do ensaio de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet.

Parâmetros/ Amostras		ΔM (%)	Filtrado (g)
TS	Média	0,69	0,66
	Desvio Padrão	0,24	
TA	Média	0,84	0,63
	Desvio Padrão	0,35	
TM	Média	2,28	3,08
	Desvio Padrão	0,86	

Das três variedades de traquito estudadas, o TM foi o que apresentou maior perda de peso, cerca de 2,3%. Ao filtrar o lixiviado para ser analisada a sua composição química também foi o TM que apresentou maior quantidade de material filtrado. Isto permite concluir que esta variedade é mais suscetível a alterações provocadas por lixiviação contínua de um líquido. A amostra também sofreu uma variação de cor, apresentando cores avermelhadas, ficando com a aparência que consta na figura 66.



Figura 66 - Amostras de TM antes (esquerda) e após (direita) os cinco ciclos de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet

A composição química dos lixiviados foi analisada através de absorção atômica e os resultados encontram-se em 5.6.3.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

5.5.5 Ataque com reagentes químicos

Após os três ataques foi registrado o peso de cada provete e calculada a sua variação em consequência da alteração (Anexo B.5). O resumo dos resultados está indicado na tabela 22, que indica os valores médios da perda de peso percentual dos provetes, após o ensaio. Foi realizado um registo fotográfico das amostras, através de uma lupa binocular e de lâminas delgadas de forma a identificar as alterações ocorridas.

Tabela 22 - Valores médios da perda de peso percentual dos provetes para cada um dos reagentes

Reagente	Concentração	ΔM (%)
H₂SO₄	10 %	-0,46
HNO₃	10 %	-0,28
HCl	10 %	-0,30
CH₃COOH	10 %	-0,09
KOH	100 g/L	-0,23
NaClO	13,5 %	-0,77
C₃H₆O	99,5 %	0,19
C₂H₆O	96 % Vol	0,07
NH₃	25 %	0,17

O ataque utilizando o ácido sulfúrico resultou num aumento do peso das amostras, em resultado das cristalizações que ocorreram quer na superfície de contacto, quer na base da amostra, alterando-a e modificando a sua cor para amarelado (Fig. 67). Relativamente à alteração ocorrida a nível mineralógico apenas se detetou uma alteração dos minerais presentes na matriz, tal como representado na figura 68. Verificou-se também um aumento do peso das amostras no ataque com ácido clorídrico e alteração da cor para avermelhado (Fig. 67) e a nível mineralógico detetaram-se alterações dos feldspatos, tal como se pode observar na figura 69.

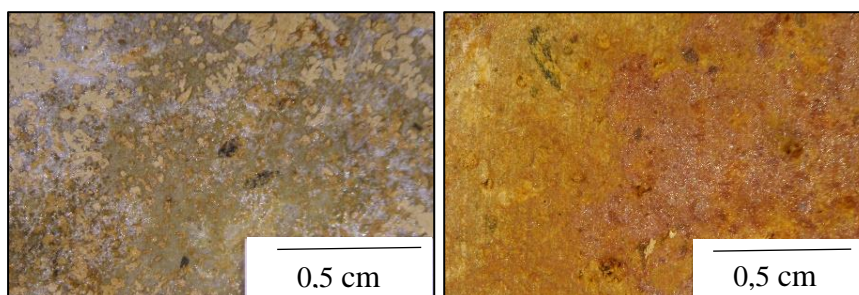


Figura 67 - Amostra de traquito à lupa binocular após ataque com ácido sulfúrico (à esquerda) e ácido clorídrico (à direita)

5. Resultados experimentais e sua avaliação

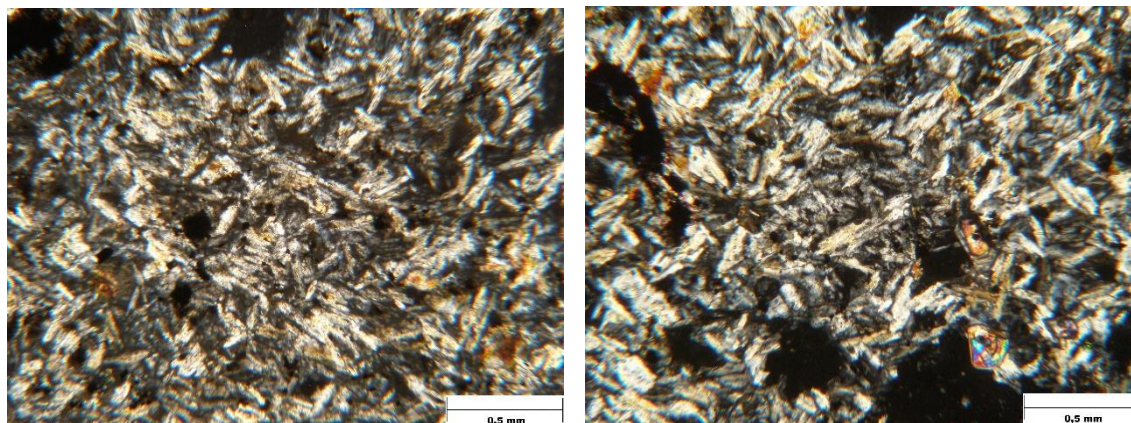


Figura 68 - Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido sulfúrico (à direita), em nicóis X

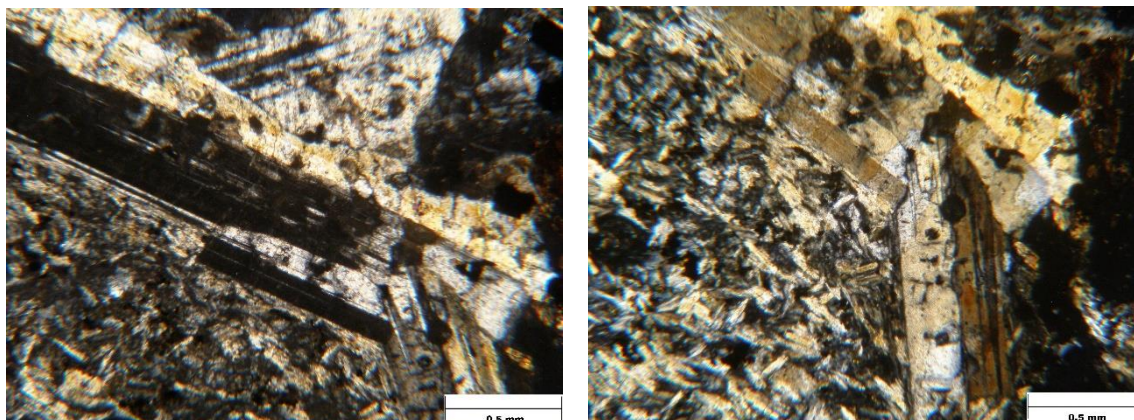


Figura 69 - Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido clorídrico (à direita), em nicóis X

O ácido nítrico provocou também um aumento de peso das amostras e pequenas alterações de cor na superfície e na lateral do provete, para castanho (Fig. 70). A nível mineralógico não se detetaram alterações (Fig. 71).

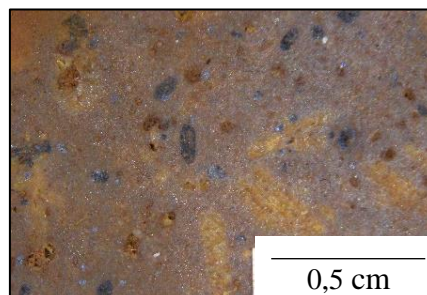


Figura 70 - Amostra de traquito após ataque com ácido nítrico

5. Resultados experimentais e sua avaliação

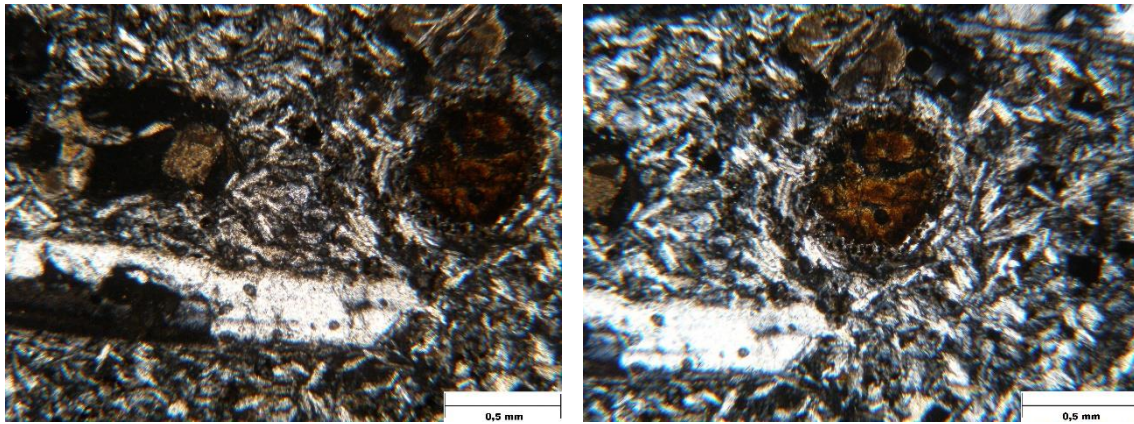


Figura 71 - Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido nítrico (à direita), em nicóis X

Nos provetes sujeitos ao ataque com ácido etanoico verificou-se o aumento de peso das amostras devido a pequenas eflorescências de sais, de cor vermelha, que ocorreram lateralmente. A nível mineralógico ocorreu alteração da matriz e dos feldspatos como está representado na figura 72, onde é possível verificar a alteração ocorrida.

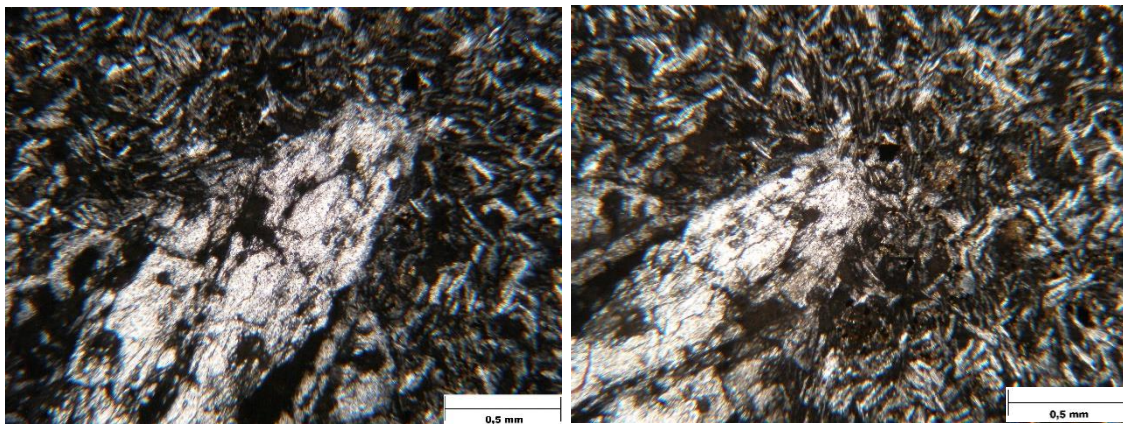


Figura 72 – Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com ácido etanoico (à direita), em nicóis X

A alteração provocada pelo hidróxido de potássio resultou num aumento de peso dos provetes devido a cristalizações na superfície do provete, onde este adquiriu tons mais claros. O mesmo aconteceu com o hipoclorito de sódio, adquirindo tons acastanhados (Fig. 73). Em ambos os casos e logo no início, o ataque destruiu as lâminas delgadas (Fig. 74 e 75, respetivamente) e não foi possível verificar quais as alterações ocorridas a nível mineralógico.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

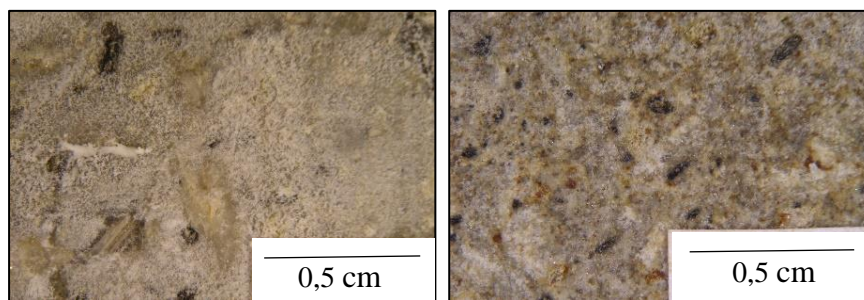


Figura 73 - Amostra de traquito após ataque com hidróxido de potássio (à esquerda) e com hipoclorito de sódio (à direita)

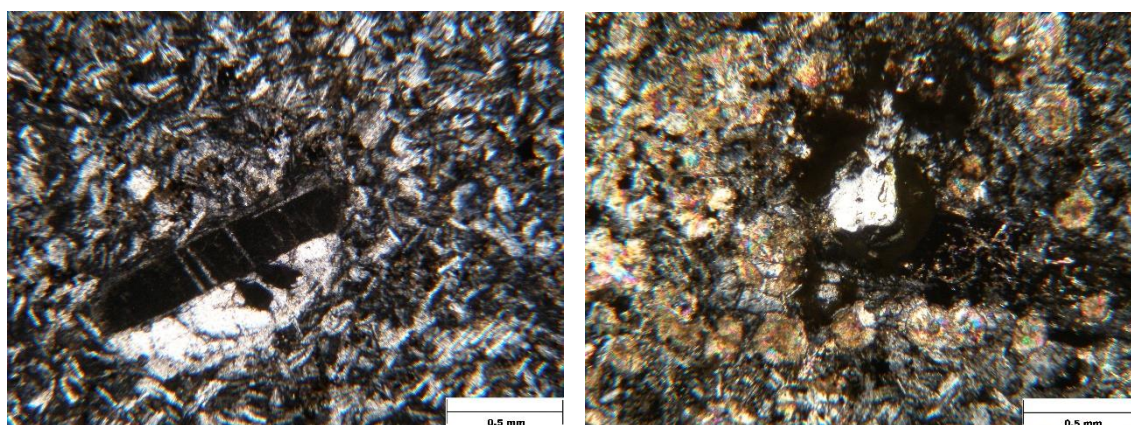


Figura 74 - Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com hidróxido de potássio (à direita), em nicóis X

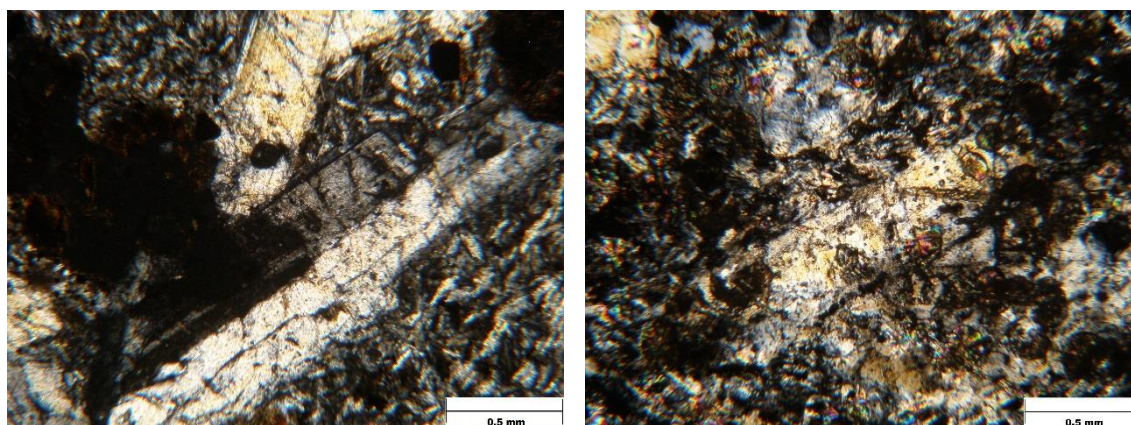


Figura 75 - Aspetos em lâmina delgada do TS antes do ataque (à esquerda) e depois do ataque com hipoclorito de sódio (à direita), em nicóis X

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Para os ataques com acetona, etanol e amoníaco ocorreu uma pequena diminuição do peso das amostras e não foram detetadas variações de cor.

Conforme foi possível observar em lâmina delgada ao microscópio, a porção mineralógica que tende a ser mais afetada pelos ataques com reagentes químicos são os feldspatos e a matriz (composta essencialmente por matéria vítrea e feldspatos).

Em conclusão, o traquito apresenta uma boa resistência ao ataque de ácidos mais fortes, não ocorrendo dissolução das amostras, apesar das variações de cor e formação de cristais, justificando o aumento do peso (Fig. 76).

Apesar das elevadas concentrações utilizadas nos ataques, o comportamento da rocha na presença destes reagentes, o traquito apresentou uma boa resistência, sendo um material resistente às situações aqui simuladas, como as chuvas ácidas e detergentes agressivos, visto que nestes casos a rocha estar sujeita a concentrações muito inferiores.



Figura 76 - Aspeto geral das amostras de traquito após ataque com reagentes químicos

5.6 Análise química

5.6.1 Microscópio eletrônico de varrimento

A análise química realizada através do MEV permitiu obter a percentagem de óxidos presente na amostra, cujos resultados estão apresentados na tabela do anexo C.1.

Os valores de SiO_2 , Na_2O e K_2O , permitem a confirmação da classificação da rocha como sendo um traquito, segundo a classificação de Le Bas *et al.* (1986), como está indicado na figura 77 e enquadra-se nos resultados obtidos para outros traquitos estudados (Ver tabela 1).

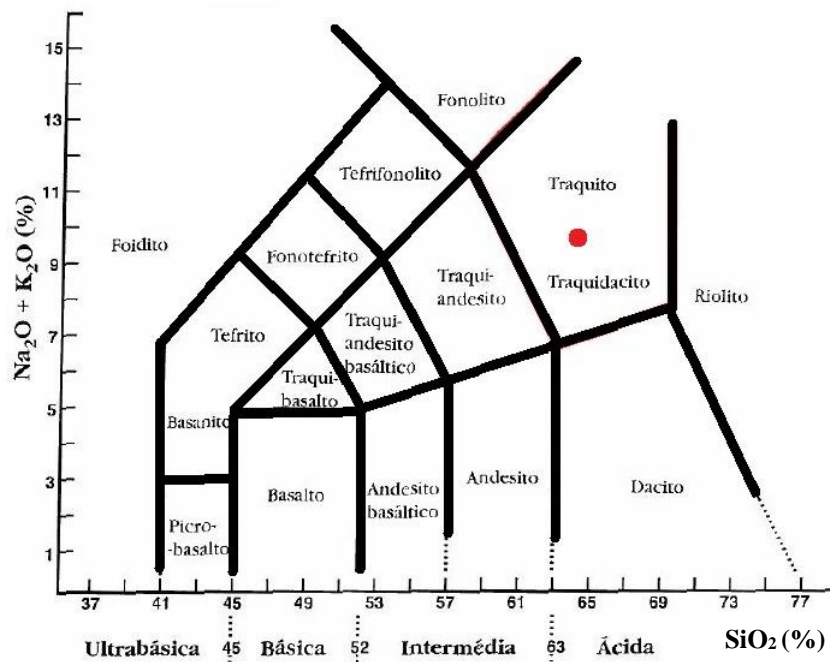


Figura 77 - Classificação química do TS segundo Le Bas *et al.* (1986)

(Adaptado de Gomes, 1997)

5.6.2 Fluorescência de raios-X

Este método foi utilizado para complementar o anterior e confirmar os resultados. Os valores de percentagem de óxidos estão registrados na tabela do anexo C.2, onde se identificou que o elemento mais abundante corresponde à sílica (SiO_2), seguindo-se o alumínio (Al_2O_3) e o ferro (Fe_2O_3), tal como aconteceu nos resultados da análise química, realizada através do MEV.

Assim, a classificação do traquito, representada na figura 77, é confirmada pelo método da fluorescência de raios-X.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

Relacionando estes resultados com a caracterização petrográfica e análise mineralógica, os minerais presentes na rocha são responsáveis pela presença dos elementos químicos detetados pelos diferentes métodos.

A sílica em abundância deve-se à presença de diversos minerais no traquito, como os feldspatos, biotites e anfíbolos. O mesmo acontece com o alumínio, sódio e potássio. No caso do ferro, a sua concentração deve-se à presença das biotites, anfíbolos e à existência de minerais metálicos, detetados em lâmina delgada como opacos. O cálcio deve-se à presença da calcite.

5.6.3 Absorção atômica

No final de cada ciclo de lixiviação contínua com extrator de Soxhlet, foi analisado o pH e a condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) da solução circulante (lixiviado), cujos resultados estão registados no anexo B.4.

O pH médio dos lixiviados ao longo dos ciclos e em todas as amostras aumentou cerca de 35%, relativamente à água destilada. Entre os ciclos não ocorreram alterações substanciais, tal como está representado no gráfico da figura 78. Isto deve-se maioritariamente à presença de sílica e carbonatos (calcite) nas amostras de traquito. Este parâmetro foi medido através do equipamento: Eletrodo Schott handylab pH/LF12.

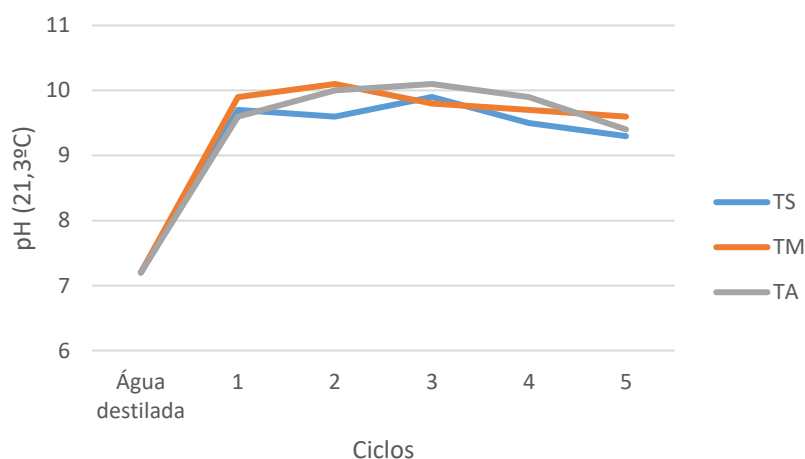


Figura 78 - Variação do pH dos lixiviados ao longo dos ciclos

5. Resultados experimentais e sua avaliação

A condutividade do lixiviado aumentou, em relação à água destilada, no primeiro ciclo, diminuindo e estabilizando nos seguintes (Fig.79). Este resultado indica que o lixiviado dissolveu sais da rocha. Realizaram-se análises químicas por absorção atômica, de modo a determinar a concentração de elementos químicos no lixiviado, em ppm (mg/L), como resultado da alteração.

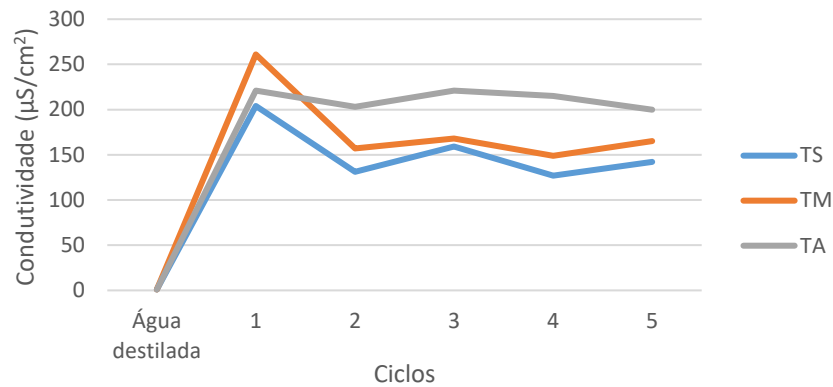


Figura 79 - Variação de condutividade dos lixiviados ao longo dos ciclos

Através desta análise, foi possível determinar a concentração do ferro, potássio, sódio, cálcio, magnésio, alumínio e silício para os lixiviados de cada amostra ao longo dos cinco ciclos. Para tal foram preparados padrões para cada elemento, entre 0,1 e 15 ppm, de forma a construir uma reta de calibração que permitisse a análise das amostras com o maior rigor possível. Os resultados encontram-se no anexo C.3, a partir dos quais foram obtidos os gráficos da variação de concentração ao longo dos ciclos (Fig. 80 a 86).

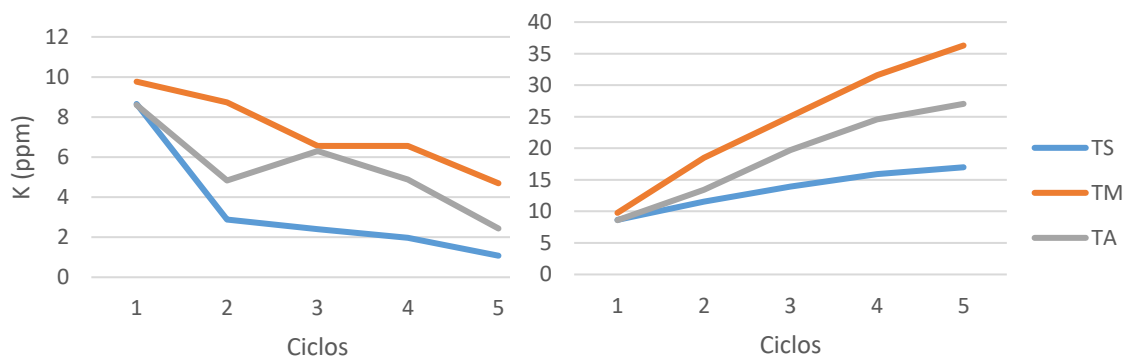


Figura 80 – Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de potássio ao longo dos ciclos

5. Resultados experimentais e sua avaliação

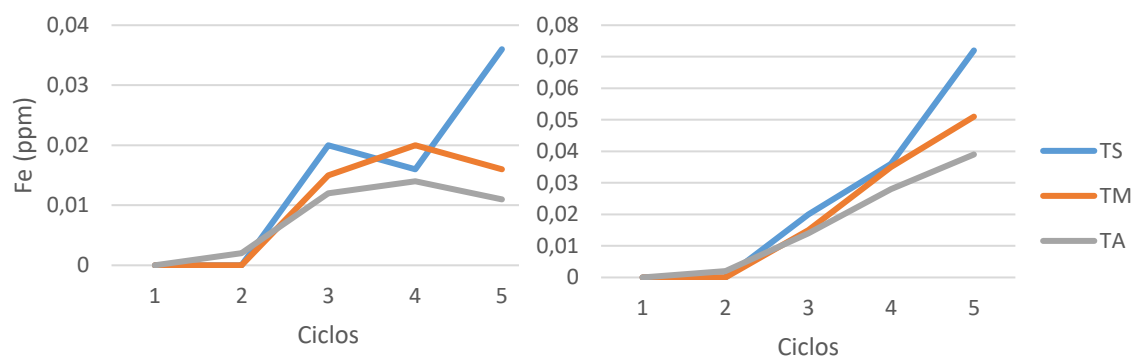


Figura 81 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de ferro ao longo dos ciclos

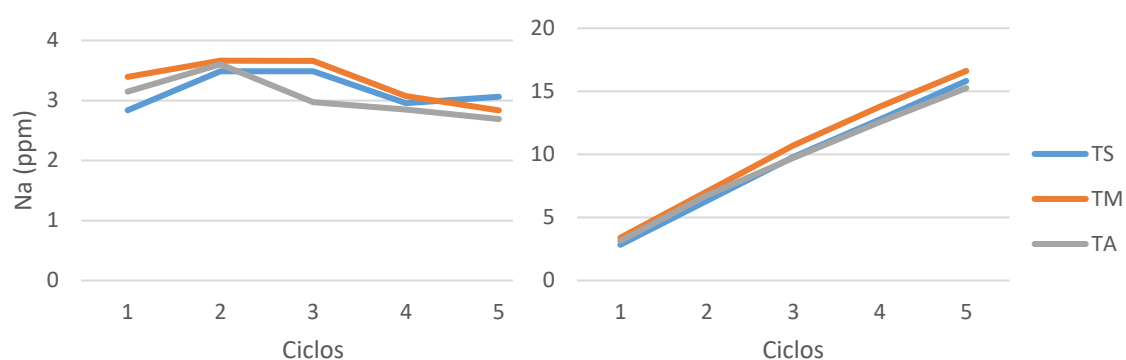


Figura 82 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de sódio ao longo dos ciclos

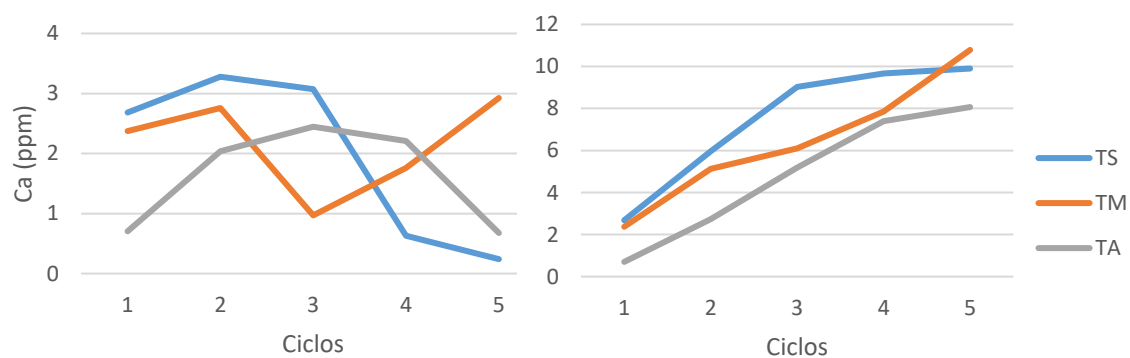


Figura 83 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de cálcio ao longo dos ciclos

5. Resultados experimentais e sua avaliação

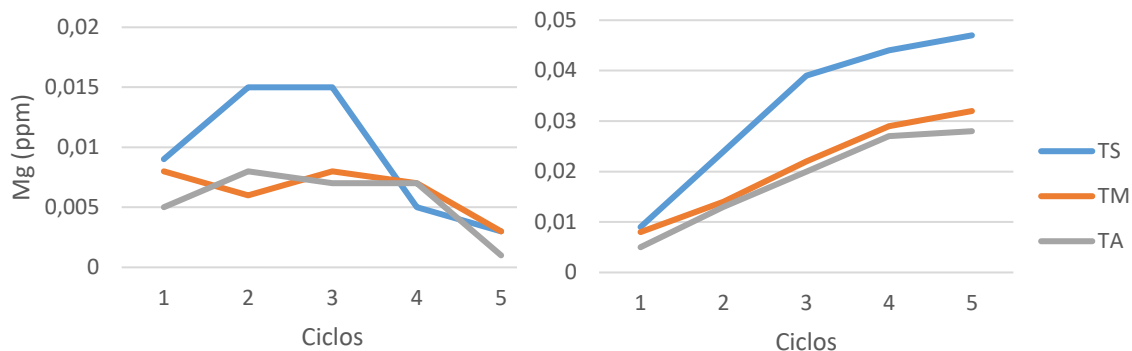


Figura 84 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de magnésio ao longo dos ciclos

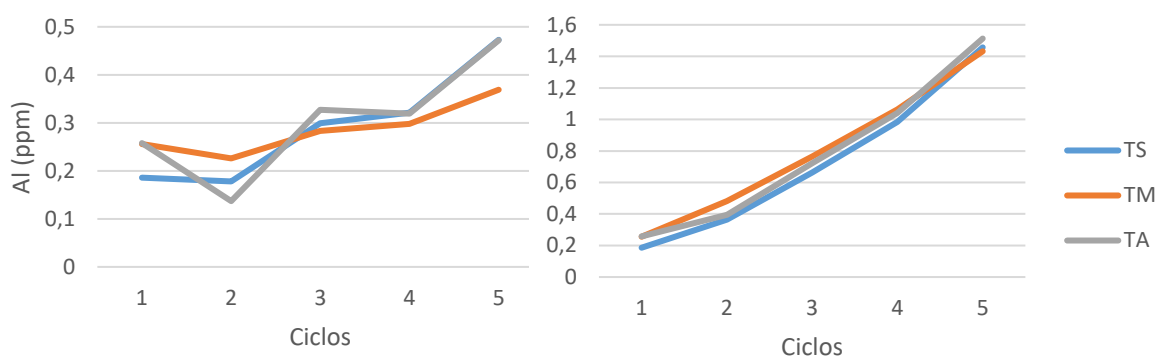


Figura 85 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de alumínio ao longo dos ciclos

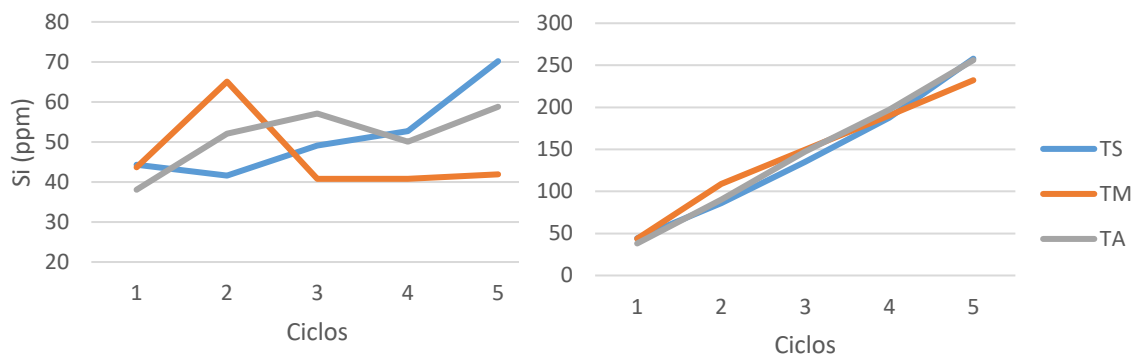


Figura 86 - Variação absoluta (à esquerda) e variação acumulada (à direita) da concentração de silício ao longo dos ciclos

Na análise da concentração de potássio ao longo dos ciclos, verificou-se que as amostras de traquito libertaram maior quantidade deste elemento para o lixiviado no primeiro ciclo, tendo a concentração deste elemento vindo a diminuir ao longo dos ciclos seguintes. O lixiviado proveniente da variedade TM foi o que apresentou a maior concentração de potássio total no total dos ciclos (36 ppm). Assim conclui-se que este elemento apresenta uma elevada mobilidade na presença de fluidos.

5. Resultados experimentais e sua avaliação

O ferro mostrou ser um elemento resistente à lixiviação, pois este apenas foi detetado a partir dos ciclos 2 e 3 e em pequenas concentrações. O lixiviado da variedade TS foi onde se detetou maior presença deste elemento no total dos ciclos (0,07 ppm). Este resultado indica que o elemento presente nas amostras de traquito é resistente à alteração provocada pela lixiviação.

A concentração do sódio ao longo dos ciclos permaneceu estável, sem grandes alterações, apresentando valores na ordem dos 16 ppm (valor acumulado) no final do ensaio, para cada amostra. Este resultado permite classificar o sódio como um elemento com elevada mobilidade.

Relativamente ao cálcio, detetaram-se oscilações nas concentrações deste elemento nas diferentes amostras ao longo dos ciclos. Apesar deste comportamento a concentração de cálcio, em cada amostra, no total dos ciclos de lixiviação ronda os 9-10 ppm, refletindo uma grande mobilidade deste elemento na lixiviação.

O magnésio foi detetado em baixas concentrações em todas as medições realizadas, numa média de 0,04 ppm (valor acumulado). Este resultado deve-se à fraca concentração deste elemento na rocha e à sua elevada resistência à alteração.

O alumínio foi detetado de forma crescente ao longo dos ciclos, tendo cada amostra perdido um total de cerca de 1,5 ppm, correspondendo a um valor que permite identificar este elemento como resistente à lixiviação.

Dos elementos químicos analisados nesta técnica, o que apresentou maiores concentrações no lixiviado foi o silício. Nas amostras TS e TA o seu comportamento, ao longo dos ciclos, foi idêntico. Contudo, o valor acumulado da concentração deste elemento, no total dos ciclos, foi semelhante para as três amostras, apresentando um valor considerável de 250 ppm.

Em suma, a lixiviação das amostras levou a um aumento do pH e condutividade da água destilada, em resultado da passagem de elementos da rocha para a água. O estudo dos elementos químicos presentes no lixiviado permitiu concluir que o silício é o elemento mais suscetíveis à alteração, tendo sido detetado em maiores concentrações, seguindo-se o potássio e sódio, devido à composição mineralógica das rochas. Assim, considerou-se que os feldspatos e as plagioclases foram os minerais mais alterados. Das três variedades de traquito, a que apresentou ser mais suscetível à lixiviação foi o TM pela maior concentração de elementos detetada.

6 Considerações finais

A nível nacional a indústria das rochas ornamentais apresenta um setor importante da economia. A rocha em estudo neste trabalho corresponde a um traquito, uma rocha vulcânica pertencente ao complexo vulcânico de Lisboa, com afloramentos na região de Mafra. Determinaram-se as suas características principais com o objetivo de a implementar no setor das rochas ornamentais portuguesas. Existem outros traquitos que são explorados na região autónoma da Madeira e Açores, locais onde adquirem o nome de cantaria rija e de onde foi possível recolher informações sobre estas rochas de modo a comparar com o traquito de Mafra. O afloramento em estudo apresenta uma área de cerca de 15 hectares. No local foi realizada prospeção geofísica, nomeadamente geolétrica, que permitiu detetar a possível localização da rocha entre os 10 e os 25 metros de profundidade. Caso se confirmem os resultados, a quantidade de material existente influencia positivamente na viabilidade da sua exploração.

A caracterização físico mecânica dos traquitos permitiu avaliar a sua aptidão perante as diferentes aplicações a que as rochas ornamentais se destinam e o seu comportamento perante várias condições de exposição. A análise petrográfica, mineralógica e química permitiu a classificação da rocha como um traquito e a identificação das principais fases minerais, aspetos texturais e composição química.

Os índices físicos do traquito, nomeadamente a absorção de água e porosidade aberta apresentaram valores muito elevados, o que pode comprometer a utilização da rocha em exteriores, visto os valores desejáveis de absorção de água para exteriores serem inferiores a 0,4% (Pinto *et al.*, 2006). Relativamente ao parâmetro do coeficiente de absorção de água por capilaridade, o resultado obtido indica que a amostra possui uma baixa percolação de água no seu interior. Correlacionando todos os índices físicos obtidos para o traquito, considera-se que a rocha não é aconselhada a utilizações no exterior, visto apresentar elevada absorção de água, apesar da sua baixa capacidade de percolação de água no seu interior.

Relativamente aos ensaios de alteração realizados, pode considerar-se que a rocha apresenta uma elevada resistência aos agentes testados. No nevoeiro salino e cristalização de sais, o traquito não apresentou sinais de desagregação, permanecendo intacto mas relativamente ao seu comportamento mecânico, nomeadamente a resistência à compressão uniaxial, sofreu um decréscimo de cerca de 25 e 57%, respetivamente. Estes resultados podem colocar em causa o desempenho da rocha em solicitações estruturais

6. Considerações finais

mais exigentes em obra, visto o valor mínimo aceitável ser de 98 MPa (Moura, 2000), sendo por isso desaconselhável a utilização deste material em contacto direto com a água do mar. A nível visual as alterações sofridas por ciclos térmicos provocaram um escurecimento das amostras e formação de pequenas zonas de oxidação. A ação dos reagentes químicos permitiu classificar o traquito como uma rocha resistente até aos reagentes mais agressivos e com elevadas concentrações, resultando numa variação de tonalidades, pequenas cristalizações na superfície das amostras e, em geral, um ligeiro ganho de peso. Com a análise química do lixiviado identificou-se que os elementos mais móveis, ou seja, com maior tendência a serem eliminados da rocha, correspondem ao silício, potássio e ao sódio, como resultado da alteração dos feldspatos e plagioclases.

Considera-se que o traquito apresenta grande potencial no setor das rochas ornamentais portuguesas pelo seu elevado desempenho mecânico em todos os parâmetros analisados, como resistência à compressão uniaxial, flexão, desgaste, ancoragem e choque, correspondendo a características essenciais para utilização da rocha em obra. Tendo em conta os valores obtidos, a rocha apresenta elevada resistência, sendo apta para a maioria das situações, segundo as especificações para as diferentes aplicações e produtos (Moura, 2000), tais como:

- Zonas moderadas a fortemente afetadas pela ação do gelo, sujeitos a tráfego forte a intenso (incluindo veículos) quer para uso público, coletivo ou privado.
- Placas de revestimento fixas mecanicamente com cavilhas, rodapés, lambris, paredes lisas verticais, rebordos salientes, parapeitos e corrimões em espaços limitados, sujeitos desde impactos fracos a fortes.

Foi elaborada a seguinte tabela com as sugestões de aplicação do material, tendo em conta os resultados obtidos e as especificações tabeladas, para ficar a conhecer, de uma forma mais clara, as possíveis utilizações do traquito.

6. Considerações finais

Tabela 23 - Sugestões de aplicação do traquito segundo as utilizações mais comuns das rochas ornamentais.

(✓ : Aconselha-se a aplicação; ✕: Não se aconselha a aplicação; ✓ *: Aconselha-se a sua aplicação apenas em interiores)

Aplicação	Traquito
Bancos de jardim	✕
Guias de passeio	✕
Calçada	✕
Colunas	✓*
Pórticos	✓*
Placas para revestimento em interiores	✓
Placas para revestimento em exteriores	✕
Placas para revestimento de degraus	✓*
Placas para pavimentos em interiores	✓
Placas para pavimentos em exteriores	✕
Arte funerária	✕
Elementos decorativos artísticos	✓*
Mobiliário de cozinha (ex: bancadas)	✓
Mobiliário de casa de banho	✓

As perspetivas futuras deste trabalho, de forma a torná-lo mais completo e preciso, consistem na realização de novos perfis de resistividade elétrica com diferentes orientações e de sondagens mecânicas, para confirmação dos dados obtidos da profundidade do maciço traquítico. Sugere-se também uma nova realização dos ensaios físico mecânicos com amostras de traquito saturadas em água, de forma a comparar com os resultados obtidos neste trabalho e verificar se a absorção de água e porosidade aberta prejudicam ou não o desempenho da rocha. O caso do traquito dos Açores (Pedra de Porto Formoso) apresenta estes mesmos parâmetros elevados e o material é utilizado em exteriores. Contudo, apenas caso se verifique que estes parâmetros não influenciam o seu desempenho, as aplicações listadas na tabela 23 como não aconselhadas, podem ser incluídas na sua aplicação.

7 Referências bibliográficas

Aires-Barros, L. (1991). Alteração e Alterabilidade de Rochas. *Instituto Nacional de Investigação Científica, Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade Técnica de Lisboa*. Portugal, n.1. p. 384.

Brak-Lamy, J. (1945). Nota prévia sobre o estudo do afloramento traquítico de Montemor (Caneças). *Boletim do museu e laboratório de minas e geologia da Universidade de Lisboa*, nº 12. pp. 151-163.

Carvalho, A. M. G. (2002). Introdução ao estudo do magmatismo e das rochas magmáticas. *Âncora editora*. p. 435.

Carvalho, C. I. P. (2015). Estudo da influência do nevoeiro salino nas propriedades de calcários portugueses. Dissertação para obtenção de grau de doutor. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*.

Costa, A. (2007). Alterabilidade e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais. Programa de pós-graduação em geociências. *Universidade Estadual Paulista – Instituto de geociências e ciências exatas*, Rio Claro, São Paulo.

Costa, S. I. (2013). Espectrofotometria de absorção atômica com chama ou com câmara de grafite para determinação do Mg, Cu, Zn, Se. *Departamento de promoção da saúde e prevenção de doenças não transmissíveis. Unidade de diagnóstico laboratorial e referência*. Governo de Portugal, Lisboa.

DGEG (2016). Dados anuais da indústria extrativa de Portugal continental (inclui setor minas e pedreiras) desagregados à substância. *Direção Geral de Energia e Geologia*, período dos dados até 2015. www.dgeg.pt (consultado a 30-11-2016)

7. Referências bibliográficas

Fonseca, B. (2012). Influência do nevoeiro salino na degradação de materiais cerâmicos aplicados em construções. Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia geológica. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*.

Galhano, A. C. (1999). Relações entre as propriedades geotécnicas, mineralógicas e geoquímicas das argilas e lodos da região de Aveiro. Dissertação para obtenção de grau de mestre em minerais e rochas ornamentais. *Universidade de Aveiro, Departamento de geociências*.

Galhano, A. C.; Rocha, F.; Gomes, C. (1999). Geostatistical analysis of the influence of textural, mineralogical and geochemical parameters on the geotechnical behaviour of the "Argilas de Aveiro" Formation (Portugal). *Clay Minerals*, 34. pp. 109-116.

Gomes, C. F. (1979). Raios-X no estudo de materiais. Textos didáticos. *Universidade de Aveiro*. p. 209.

Gomes, C.; Silva, J. (1997). Pedra natural do arquipélago da madeira: Importância social, cultural e económica. *Madeira Rochas*, Câmara de Lobos: Madeira. p. 176.

Hall, A. (1987). Igneous Petrology. *Longman Scientific & technical*, England. p.573.

Hess, P. C. (1989). Origins of igneous rocks. *Harvard university press*, England. p. 336.

Huertas F.J.; Fiore S.; Huertas, F. (1995). Pedologia sperimentale: Idrolisi Delle Rocce e Sintesi dei Mineralli Argillosi. In Incontri Scientifici, Vol. 1. *Istituto di Ricerca sulle Argille*, S. Fiore. pp. 3-22.

INETI (2008). Relatório de laboratório nº36/RMIN/2008. Amostras de Pedra do Porto Formoso, Açores. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*. São Mamede de Infesta. (não publicado)

7. Referências bibliográficas

IPQ (2016). Catálogo de documentos normativos. <http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/pesquisarnormas.aspx>. *Instituto Português da Qualidade*. Republica portuguesa. (Consultado a 10-9-2016)

Konica Minolta (2016). Entendendo o Espaço de cor L*a*b*. <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/> (Consultado a 21-10-2016)

LREC (2013). Catálogo de materiais endógenos ou produzidos e transformados na região autónoma dos Açores. *Secretaria regional do turismo e transportes*. p. 160.

Le Bas, M. J.; Le Maitre, R. W.; Streckeisen A.; Zanettin B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkalis-silica diagram. *Journal of Petrology*, Vol. 27, Part 3. pp. 745-750.

Le Maitre, R. W. (1989). A classification of igneous rocks and glossary terms. International Union of geological sciences. *Blackwell scientific publications*, Oxford. p. 206.

Maliska, A. (2013). Microscopia eletrónica de varredura. *Universidade Federal de Santa Catarina*. p. 98.

Medeiros, S.; Zanon, V.; Ramos, V.; Silva, A. S.; Nunes, J.C.; Soares, D.; Fernandes, I.; Miranda, V. (2012). Avaliação da reatividade aos Alcalis de agregados vulcânicos do arquipélago dos Açores. *Encontro nacional de betão estrutural*, FEUP. p. 10.

Miranda, A. M. (1986). Alteração experimental de rochas. A contribuição do Instituto Superior Técnico. *Geotécnia*, n. 48. pp. 3-37.

Moura, A. C. (2000). Granitos e rochas similares de Portugal. Instituto geológico e mineiro. *Marca-Artes Gráficas*. p. 179.

7. Referências bibliográficas

Moura, A.; Velho, J. L. (2011). Recursos Geológicos de Portugal. *Palimage*, Coimbra p. 571.

Nockolds, S. R.; Knox, R. W. O'B.; Chinner, G. A. (1978). Petrology for students. *Cambrige University*, London. p. 435.

NP EN 12370 (2001). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência à cristalização de sais. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 12371 (2010). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência ao gelo. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 12372 (2008). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência à flexão sob carga centrada. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 12407 (2008). Métodos de ensaios para pedra natural, estudo petrográfico. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 13364 (2006). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 13755 (2008). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da absorção de água à pressão atmosférica. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 14147 (2007). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 14157 (2007). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência ao desgaste. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 14158 (2005). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da energia de rutura. *Instituto Português da Qualidade*.

7. Referências bibliográficas

NP EN 14579 (2007). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da velocidade de propagação do som. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 16140 (2013). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 1925 (2000). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 1926 (2008). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação da resistência à compressão uniaxial. *Instituto Português da Qualidade*.

NP EN 1936 (2008). Métodos de ensaio para pedra natural, determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. *Instituto Português da Qualidade*.

Orellana, E. (1972). Prospeccion Geoeletrica en corriente continua. *Paraninfo*, Madrid. p. 532.

Ozen, E.; Yeniocak, M.; Colak, M.; Goktas, O.; Koca, I. (2004). Colorability of Wood Material with Punica granatum and Morus nigra Extracts. *BioResources* 9 (2), Turkey. pp. 2797-2807.

Pereira, I.; Galocha, A.; Alberto, F., Nunes, N. (2008). Relatório de Geologia de Campo I – Estudo geológico da região do Cabeço de Montachique, Loures. *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – Departamento de Geologia*.

Pinho, A. (2003). Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência: O flysch do baixo Alentejo. Dissertação para obtenção de grau de doutor. *Universidade de Évora*.

7. Referências bibliográficas

Pinto, A. C. R.; Alho, A. A.; Moura, A.; Henriques, A. M. E.; Carvalho, C. I. P.; Ramos, J. M. F.; Almeida, N. C.; Mestre, V. (2006). Manual da pedra natural para a arquitetura. *Direção geral de geologia e energia*, Lisboa.

PDM (2013). Relatório de estudos de caracterização. Proposta de revisão, Volume VI. *Plano diretor municipal*, Mafra. p. 318.

Ramalho M.; Pais, J.; Rey, J.; Berthou, P. Y.; Alves, C. A. M.; Palácios, T.; Leal, N.; Kullberg, M. C. (1993). Notícia explicativa da folha 43-A, Sintra. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa. p. 77.

Ramalho M. M.; Costa, C.; Clavijo, E.; Dias, R. P.; Kullberg, J. C.; Ribeiro, M. L.; Cunha, T. A.; Porteiro, A. (2005). Carta geológica da área metropolitana de Lisboa à escala 1/50000, Folha 34-A, Sintra. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.

Ramos, J. M. F.; Moura, A. C. (2010). Alguns aspetos do contributo da geologia no estudo e caracterização de maciços para exploração de rochas ornamentais. Ciências geológicas – Ensino e investigação e sua história. *Geologia e recursos geológicos*, Volume II, capítulo I. pp. 131 – 141.

Rebola, P. (2011). Ensaio do tipo inicial para marcação CE da pedra natural. Seminário: Explorações a céu aberto – Novos desenvolvimentos. *CEVALOR*, Borba. p. 44.

Ribeiro, J. (2013). Aplicação de ultrassons na caracterização de estruturas de betão. Dissertação para obtenção de grau de mestre. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*.

Rocha, M. (1981). Mecânica das Rochas. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisboa.

7. Referências bibliográficas

Santos, F. (2012). Caracterização geotécnica na análise da estabilidade de taludes naturais – o caso de São Martinho do Porto. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Geológica (Geotecnia). *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*.

Simão, J. (2003). Rochas ígneas como pedra ornamental - Causas, condicionantes e mecanismos de alteração, implicações tecnológicas. Dissertação para obtenção de grau de doutor em petrologia e geoquímica. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*.

Sparks, R. S. J.; Wadge, G. (1976). Geological and geochemical studies of the Sintra alkaline igneous complex, Portugal. *University of Lancaster, England*. pp. 385-406.

Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* pp. 1-33.

Wilson, M. J. (1987). X-ray powder diffraction methods: A handbook of determinative methods in clay mineralogy. *Blackie, Glasgow*. pp. 26-98.

8 Anexos

Anexo A – Tabelas das análises de cor e ensaios físico-mecânicos

Anexo A.1 - Parâmetros colorimétricos

Amostra: Traquito São (TS); Traquito Alterado (TS)

Data: 04/07/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	TS sólido seco			TA sólido seco			TS sólido húmido			TA sólido húmido			TS moído			TA moído		
1	66,18	-0,35	2,50	55,89	2,86	9,08	44,52	-0,52	5,39	31,30	4,05	13,24	66,87	0,83	7,03	69,79	5,41	26,69
2	63,15	-0,47	2,09	65,97	1,88	7,68	42,98	-0,71	4,48	29,91	3,66	10,87	67,08	0,86	7,06	70,03	5,44	26,81
3	66,58	-0,37	3,06	67,44	1,87	7,81	42,99	-0,70	4,51	34,51	4,89	13,00	66,96	0,84	7,00	69,73	5,57	26,92
4	64,21	-0,35	2,19	65,50	1,93	8,96	44,05	-0,71	5,58	36,89	5,10	13,60						
5	68,38	-0,23	3,70	53,61	2,99	7,99	47,18	-0,64	6,74	36,56	4,95	13,53						
6	67,50	-0,53	2,68	64,81	1,37	8,83	45,48	-0,71	5,20									
7	65,08	-0,56	2,34	65,40	1,69	6,14	43,59	-0,80	6,15									
8	65,95	-0,52	2,74	68,29	1,66	7,30												
9	65,43	-0,62	2,57	54,41	2,21	6,94												
10	67,19	-0,65	2,51	65,16	1,13	6,16												
11	65,65	-0,47	2,17	66,94	1,57	6,68												
12	64,91	-0,51	2,44	63,98	1,58	6,06												
Média	65,85	-0,47	2,58	63,12	1,90	7,47	44,40	-0,68	5,44	33,834	4,53	12,85	66,97	0,84	0,73	69,85	5,47	26,81
Desvio padrão	1,39	0,12	0,43	5,04	0,53	1,06	1,40	0,08	0,76	2,79	0,57	1,01	0,09	0,01	0,02	0,13	0,07	0,09
Coef. de variação	0,02	-0,25	0,16	0,08	0,28	0,14	0,03	0,12	0,14	0,08	0,13	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00

Anexo A.2 – Índices físicos

Amostra: Traquito São (TS) ; Traquito Alterado (TS); Traquito Mula (TM)Dimensões: 50*50*50 mmData: 11/07/2016Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNLNormas: NP EN 1936:2008 – Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta; NP EN 13755:2008 – Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

	TS			TA			TM		
	Peso seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso seco (g)	Peso Saturado (g)	Peso Hidrostático (g)
1	259,65	268,96	160,0	263,10	270,97	163,3	5,33	5,66	3,4
2	262,10	271,27	162,5	261,64	269,59	162,6	8,86	9,37	5,7
3	263,64	272,51	163,4	262,10	271,27	162,5	12,6	13,26	8,1
4	260,97	270,05	161,6	260,97	270,00	161,6	9,82	10,22	6,3
5	263,28	272,25	163,7	255,30	268,53	160,6	9,92	10,39	6,3
6	262,76	271,48	163,0	262,76	271,48	163,2	8,97	9,43	5,8
7	261,64	269,59	162,6						
8	263,40	271,97	163,3						
9	260,50	268,69	161,6						
10	258,87	266,86	160,9						
11	262,34	269,84	163,2						
12	259,60	268,53	160,6						

8. Anexos

Anexo A.3 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade

Amostra: Traquito São (TS)Dimensões: 50*50*50 mmData: 18/07/2016Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNLNormas: NP EN 1925:2000 – Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade

	Peso seco (g)	t1 (g)	t2 (g)	t3 (g)	t4 (g)	t5 (g)	t6(g)	t7 (g)	t8 (g)	t9 (g)	t10 (g)	t11 (g)
1	260,05	260,60	260,65	260,69	260,73	260,81	260,95	261,15	261,41	261,56	262,81	263,13
2	262,43	262,97	263,03	263,07	263,20	263,31	263,39	263,60	264,01	264,16	265,92	266,02
3	263,96	264,67	264,70	264,76	264,79	264,85	264,95	265,11	265,37	265,63	266,61	266,80
4	261,28	262,04	262,13	262,22	262,29	262,48	262,54	262,75	263,10	263,48	264,77	264,93
5	263,63	264,33	264,37	264,41	264,49	264,55	264,76	264,87	265,18	265,53	266,91	267,11
6	263,10	263,77	263,86	263,93	263,98	264,03	264,20	264,39	264,71	265,00	266,49	266,60
7	262,04	262,68	262,74	262,78	262,84	262,90	263,04	263,17	263,45	263,80	264,00	264,21
8	263,74	264,47	264,54	264,57	264,64	264,71	264,86	264,97	265,28	265,65	265,93	265,99
9	260,75	261,59	261,64	261,69	261,75	261,83	262,00	262,17	262,51	262,84	262,98	263,24
10	259,75	260,04	260,09	260,11	260,23	260,26	260,41	260,63	260,97	261,23	261,57	261,66
11	262,78	263,20	263,27	263,34	263,58	263,64	263,89	264,00	264,31	264,63	265,35	265,47
12	259,99	260,55	260,61	260,69	260,82	261,04	261,19	261,43	261,82	262,10	263,27	263,41

	R ² (t7)	C1 (t7)
	0,9931	4,14
	0,9825	4,80
	0,9951	3,31
	0,9633	6,18
	0,9804	4,37
	0,9937	4,54
	0,9954	4,46
	0,9879	4,50
	0,9954	4,51
	0,9942	5,31
	0,9484	7,66
	0,9765	8,22
Média	0,98	5,17
Desvio padrão	0,01	1,40

Anexo A.4 – Resistência à compressão uniaxial

Amostra: Traquito São (TS); Traquito São (TS) + Ensaio resistência ao gelo Dimensões: 50*50*50 mm

Data: 3/10/2016

Local: Departamento de Engenharia Civil – FCT/UNL

Norma: NP EN 1926:2008 – Determinação da resistência à compressão uniaxial

	TS					TS + Gelo				
	l (mm)	e (mm)	F (KN)	R (MPa)	R (kgf/cm ²)	l (mm)	e (mm)	F (KN)	R (MPa)	R (kgf/cm ²)
1	41,96	50,37	282	133,4	1361	50,9	50,01	320	125,7	1282
2	42,66	50,95	296	136,2	1389	50,35	46,37	258	110,5	1127
3	43,51	50,29	250	114,3	1165	50,91	49,9	182	71,6	731
4	43,7	48,89	310	145,1	1480	51,48	50,2	266	102,9	1050
5	43,05	50,79	276	126,2	1287	50,05	43,76	264	120,5	1229
6	43,4	50,48	230	105,0	1071	49,9	43,5	274	126,2	1287
7	43,49	49,91	296	136,4	1391	50,6	50,27	330	129,7	1323
8	50,09	50,51	304	120,2	1225	50,5	50,28	310	122,1	1245
9	49,97	50,4	322	127,9	1304	50,34	50,01	204	81,0	826
10	50,61	49,85	300	118,9	1213	50,11	50,3	315	125,0	1274
11						50,19	50,29	274	108,6	1107
12						49,82	43,1	242	112,7	1149
Média				126	1288				111	1136
Desvio Padrão				11	116				18	180
Coef Variação				0,09	0,09				0,16	0,16
Valor mínimo esperado				103,8	1058				75	770
Valor máximo esperado				152,6	1556				160	1628

8. Anexos

Amostra: Traquito São (TS) + Ensaio de resistência ao nevoeiro salino; Traquito São (TS) + Ensaio de resistência à cristalização de sais

Dimensões: 50*50*50 mm

Data: 3/10/2016

Local: Departamento de Engenharia Civil – FCT/UNL

Norma: NP EN 1926:2008 – Determinação da resistência à compressão uniaxial

	TS + Nevoeiro					TS + Sais				
	l (mm)	e (mm)	F (KN)	R (MPa)	R (kgf/cm ²)	l (mm)	e (mm)	F (KN)	R (MPa)	R (kgf/cm ²)
1	51,23	50,41	258	99,9	1019	50,91	42,03	130	60,8	620
2	50,58	41,94	178	83,9	856	49,94	42,35	102	48,2	492
3	50,18	42,92	290	134,7	1373	50,38	42,11	108	50,9	519
4	50,4	43,67	148	67,2	686	50,12	43,57	124	56,8	579
5	49,86	42,32	194	91,9	938					
6	50,17	41,8	211	100,6	1026					
7	50,2	41,99	173	82,1	837					
8	50,88	42,3	119	55,3	564					
9	49,99	41,85	186	88,9	907					
10	50,12	41,44	243	117,0	1193					
11	50,07	41,57	264	126,8	1293					
12										
Média				95	972				54	552
Desvio Padrão				22	221				5	50
Coef Variação				0,23	0,23				0,09	0,09
Valor mínimo esperado				55	566				42	432
Valor maximo esperado				154	1570				69	701

Anexo A.5 – Resistência à flexão sob carga centrada

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 50*50*300 mm Data: 13/09/2016

Local: Frontwave – Stone Technology (Sintra)

Norma: NP EN 12372:2008 – Determinação da resistência à flexão sob carga centrada.

	b (mm)	h (mm)	L (mm)	l (mm)	F (N)	Rc (MPa)	Rc (kg/cm²)
1	50,4	50,2	300	250	4258,4	12,6	128
2	50,5	50,2	300	250	4142,0	12,2	124
3	50,2	50,5	300	250	4204,8	12,3	126
4	50,6	50,4	300	250	4276,1	12,5	127
5	50,4	49,7	300	250	4144,7	12,5	127
6	50,8	50,6	300	250	4333,3	12,5	127
7	50,4	49,7	300	250	4427,3	13,3	136
8	50,6	50,1	300	250	4436,6	13,1	134
9	50,6	50,1	300	250	4535,0	13,4	137
10	50,5	50,0	300	250	4136,8	12,3	125
11	50,3	49,8	300	250	4151,4	12,5	127
12	50,7	50,1	300	250	4093,1	12,1	123
13	49,9	50,3	300	250	4268,3	12,7	129
14	50,6	50,2	300	250	4367,8	12,8	131
15	50,7	49,9	300	250	3999,3	11,9	121
16	50,4	50,8	300	250	4650,5	13,4	137
17	50,3	50,5	300	250	4209,8	12,3	125
18	50,4	49,6	300	250	4621,4	14,0	143
Média						12,7	127
Desvio padrão						0,5	5
Coef. de variação						0,04	0,04
Valor mínimo esperado						11,7	119
Valor máximo esperado						13,7	140

Anexo A.6 – Velocidade de ultrassons

Amostra: Traquito São (TS)Dimensões: 50*50*50 mmData: 8/11/2016Local: Departamento de Engenharia Civil – FCT/UNLNorma: NP EN 14579:2007 – Determinação da velocidade de propagação do som

	TS			TS + Gelo			TS + Nevoeiro			TS + Sais		
	e (m)	t (μs)	V(m/s)	e (m)	t (μs)	V(m/s)	e (m)	t (μs)	V(m/s)	e (m)	t (μs)	V(m/s)
1	0,050	20,6	2445,15	0,051	20,9	2435,41	0,051	16,1	3181,99	0,051	16,9	3012,43
2	0,051	21,3	2392,02	0,050	19,6	2568,88	0,051	15,6	3242,31	0,050	13,2	3783,33
3	0,050	19,9	2527,14	0,051	18,8	2707,98	0,050	15,0	3345,33	0,050	12,4	4041,94
4	0,049	18,3	2671,58	0,050	21,1	2439,81	0,050	16,3	3092,02	0,050	14,7	3406,12
5	0,051	17,9	2837,43	0,050	19,2	2606,77	0,050	20,0	2493,00			
6	0,050	20,7	2438,65	0,050	19,7	2532,99	0,050	16,9	2968,64			
7	0,050	18,1	2757,46	0,051	17,9	2826,82	0,050	13,2	3803,03			
8	0,050	20,2	2469,80	0,051	21,3	2370,89	0,051	20,0	2544,00			
9				0,050	18,5	2721,08	0,050	18,7	2673,26			
10				0,050	19,2	2609,90	0,050	21,0	2386,67			
11				0,050	20,4	2460,29	0,050	21,9	2286,30			
12				0,050	19,9	2503,52						
Média		19,6	2567		19,7	2565		17,7	2911		14,3	3561
Desvio Padrão		1,2	155		1,0	130		2,2	399		1,9	385
Coef. Variação			0			0,05			0			0
Valor mínimo esperado			2249			2306			2185			2608
Valor máximo esperado			2920			2847			3787			4803

Anexo A.7 – Resistência ao gelo

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 50*50*50 mm Data: 9/12/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Norma: NP EN 12371:2010 – Determinação da resistência ao gelo

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	ΔM (%)
1	263,14	259,17	1,5
2	177,22	173,41	2,1
3	256,31	254,33	0,8
4	259,2	255,11	1,6
5	270,17	264,29	2,2
6	267,25	262,04	1,9
7	264,73	259,27	2,1
8	259,13	257,37	0,7
9	264,05	262,01	0,8
10	267,88	261,83	2,3
11	263,1	261,63	0,6
12	261,88	258,87	1,1
Média			1,5
Desvio padrão			0,6
Coef. de variação			0,43
Valor mínimo esperado			0,5
Valor máximo esperado			3,7

Anexo A.8 – Resistência ao desgaste com máquina de Capon

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 100*100*30 mm Data: 19/12/2016

Local: LNEG (São Mamede de Infesta)

Norma: NP EN 14157:2007 – Determinação da resistência ao desgaste

	Rd (mm)	Corrigido	Arred. 0,5
1	17,4	17,5	17,5
2	16,2	16,3	16,5
3	17,8	17,9	18,0
4	17,1	17,2	17,0
5	16,7	16,8	17,0
6	16,6	16,7	16,5
Média			17
Desvio padrão			0,6
Coef. de variação			0,03
Valor mínimo esperado			16
Valor máximo esperado			18,5

Anexo A.9 – Resistência à ancoragem

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 200*200*30 mm

Data: 16/12/2016

Local: LNEG (São Mamede de Infesta)

Norma: NP EN 13364:2006 – Determinação da carga de rutura ao nível do orifício de ancoragem

Provete	Furo	Diâmetro (mm)	d (mm)	d1 (mm)	ba (mm)	F (kg)	F (N)
I	1	10,2	31,0	9,0	34,0	130	1250
	2	10,3	30,5	8,5	47,0	210	2050
	3	10,3	30,5	9,0	35,0	230	2250
II	1	9,9	30,0	10,0	43,0	220	2150
	2	10,3	31,0	10,5	32,0	230	2250
	3	10,4	30,0	10,5	36,0	295	2900
III	1	10,1	30,5	10,0	34,0	240	2350
	2	10,2	29,0	10,5	34,0	160	1550
	3	10,4	31,0	9,0	42,0	280	2750
IV	1	10,2	30,0	9,5	44,0	340	3350
	2	10,3	30,0	8,0	34,0	160	1550
	3	10,2	30,0	10,5	43,0	290	2850
Média					38,2	232	2271
Desvio padrão					5,2	62	624
Coef. de variação						0,3	0,3
Valor mínimo esperado						123	1182
Valor máximo esperado						408	4048

Anexo A.10 – Resistência ao choque

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 200*200*30 mm

Data: 13/09/2016

Local: Frontwave – Stone Technology (Sintra)

Norma: NP EN 14158:2005 – Determinação da energia de rutura.

	ht (mm)	hi (mm)	hi (m)	W (J)
1	600			
2		600	0,6	6
3		650	0,65	6
4		650	0,65	6
5		700	0,7	7
6		600	0,6	6
7		650	0,65	6
Média		642	0,64	6
Desvio padrão		34	0,03	0,3
Coef. de variação			0,05	0,05
Valor mínimo esperado			0,57	6
Valor máximo esperado			0,72	7

Anexo B – Tabelas dos ensaios de alteração

Anexo B.1 – Sensibilidade a alterações de aspeto produzida por ciclos térmicos

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 50*50*10 mm

Data: 31/10/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Norma: NP EN 16140:2013 – Determinação da sensibilidade a alterações de aspeto produzidas por ciclos térmicos

	Peso inicial (g)	L (mm)	A (mm)	E (mm)	Peso final (g)	L (mm)	A (mm)	E (mm)
1	44,74	43,30	50,57	8,91				
2	67,32	50,75	43,31	13,08	67,16	50,33	43,36	13,05
3	54,00	50,90	43,46	10,24	53,88	51,00	43,41	10,27
4	43,71	51,03	43,37	9,30	43,61	50,9	43,58	8,91
5	71,45	50,47	43,31	14,18	71,28	50,23	43,35	13,88
6	55,10	50,93	43,38	10,81	54,94	51,01	43,43	10,69
7	38,51	50,93	43,43	7,74	38,42	51,10	43,40	7,64
8	62,67	50,44	43,29	12,35	62,52	50,39	43,51	12,15
9	50,39	50,84	43,37	9,80	50,23	50,88	43,43	9,60

	ΔM (%)	ΔL (%)	ΔA (%)	ΔE (%)
1				
2	0,24	-0,83	0,12	-0,23
3	0,22	0,20	-0,12	0,29
4	0,23	-0,26	0,48	-4,38
5	0,24	-0,48	0,09	-2,16
6	0,29	0,16	0,12	-1,12
7	0,23	0,33	-0,07	-1,31
8	0,24	-0,10	0,51	-1,65
9	0,32	0,08	0,14	-2,08
Média	0,25	-0,11	0,16	-1,58
Desvio padrão	0,03	0,37	0,21	1,32
Coef. de variação	0,13	-3,25	1,34	-0,84
Valor mínimo esperado	0,19	0,05	0,03	0,15
Valor máximo esperado	0,32	1,16	0,72	8,80

Anexo B.2 – Resistência ao nevoeiro salino

Amostra: Traquito São (TS) Dimensões: 50*50*50 mm

Data: 30/06/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Norma: NP EN 14147:2007 – Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino

	30 Ciclos					
	Peso inicial (g)	Peso seco c/ sal (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso Saturado (g)	Peso seco s/sal (g)	ΔM (%)
1	269,14	266,82	165,1	275,27	268,92	0,08
2	262,22	260,89	162,3	268,26	261,99	0,09
3	262,31	261,59	161,7	269,22	262,56	-0,10
4	264,20	263,21	162,5	271,47	263,91	0,11
5	254,17	253,40	155,8	261,79	254,03	0,06
6	257,25	255,98	158,1	264,26	257,08	0,07
7	264,73	263,60	164,0	270,86	263,80	0,35
8	256,13	253,95	156,6	262,69	256,02	0,04
9	254,05	251,80	155,2	260,79	254,00	0,02
10	259,88	257,75	160,8	265,30	260,39	-0,20
11	260,10	257,77	159,8	265,72	260,06	0,02
Média	260,38	258,80	160,17	266,88	260,25	0,05
Desvio padrão	4,51	4,58	3,20	4,33	4,42	0,13
Coef. de variação						2,62
Valor mínimo esperado						0,01
Valor máximo esperado						0,44

	90 Ciclos				
	Peso seco c/ sal (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso Saturado (g)	Peso seco s/sal (g)	ΔM (%)
1	266,58	165,4	275,67	266,69	0,91
2	260,64	162,6	268,68	260,93	0,49
3	261,38	162,0	269,40	261,50	0,31
4	263,03	163,1	271,80	263,03	0,44
5	253,10	156,0	261,81	253,05	0,44
6	255,63	158,6	264,47	255,74	0,59
7	263,32	164,4	270,86	263,79	0,36
8	253,61	157,2	263,24	253,84	0,89
9	251,42	155,7	261,17	251,61	0,96
10	257,27	160,7	264,88	258,11	0,68
11	257,38	160,3	266,21	257,79	0,89
Média	258,29	160,55	267,11	258,73	0,63
Desvio padrão	4,63	3,17	4,35	4,64	0,23
Coef. de variação					0,37
Valor mínimo esperado					0,26
Valor máximo esperado					1,33

	106 Ciclos				
	Peso seco c/ sal (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso Saturado (g)	Peso seco s/sal (g)	ΔM (%)
1	266,95	144,1	275,60	266,45	1,00
2	261,29	143,2	269,66	260,65	0,60
3	261,90	134,3	269,43	261,18	0,43
4	263,52	162,4	271,79	262,84	0,51
5	253,48	155,6	261,69	252,88	0,51
6	256,28	158,5	264,45	255,52	0,67
7	263,95	143,3	270,78	263,34	0,53
8	254,46	142,1	263,38	253,65	0,97
9	252,29	136,7	261,33	251,43	1,03
10	258,61	160,2	264,91	257,64	0,86
11	258,56	145,9	266,38	257,55	0,98
Média	259,21	147,85	267,22	258,47	0,74
Desvio padrão	4,52	9,24	4,35	4,60	0,22
Coef. de variação					0,30
Valor mínimo esperado					0,36
Valor máximo esperado					1,35

	166 Ciclos				
	Peso seco c/ sal (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso Saturado (g)	Peso seco s/sal (g)	ΔM (%)
1	266,25	135,0	274,69	266,31	1,05
2	260,30	145,5	268,22	260,40	0,69
3	260,98	118,5	268,48	260,94	0,52
4	262,60	133,9	271,63	262,69	0,57
5	252,70	122,5	261,59	252,78	0,55
6	255,26	133,9	263,93	255,37	0,73
7	262,91	122,0	270,74	262,97	0,66
8	253,24	129,0	263,12	253,49	1,03
9	251,12	113,9	260,84	251,30	1,08
10	256,75	117,5	264,64	256,99	1,11
11	257,08	135,2	266,59	257,28	1,08
Média	258,11	127,90	266,77	258,23	0,83
Desvio padrão	4,63	9,26	4,21	4,58	0,23
Coef. de variação					0,28
Valor mínimo esperado					0,43
Valor máximo esperado					1,46

	226 Ciclos				
	Peso seco c/ sal (g)	Peso Hidrostático (g)	Peso Saturado (g)	Peso seco s/sal (g)	ΔM (%)
1	266,78	127,0	274,49	266,27	1,07
2	259,99	141,1	267,82	260,38	0,70
3	260,12	117,6	267,78	260,90	0,54
4	261,93	132,4	270,99	262,65	0,59
5	252,10	121,7	260,86	252,74	0,56
6	254,76	132,8	263,15	255,29	0,76
7	263,21	121,4	270,00	262,96	0,67
8	253,16	128,6	262,43	253,46	1,04
9	250,89	113,1	260,18	251,27	1,09
10	256,63	116,8	264,91	256,93	1,14
11	257,38	134,5	266,19	257,24	1,1
Média	257,90	126,09	266,25	258,19	0,84
Desvio padrão	4,76	8,29	4,28	4,58	0,23
Coef. de variação					0,28
Valor mínimo esperado					0,44
Valor máximo esperado					1,48

8. Anexos

Anexo B.3 – Resistência à cristalização de sais

Amostra: Traquito São (TS)Dimensões: 50*50*50 mmData: 9/06/2016Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNLNorma: NP EN 12370:2001 – Determinação da resistência à cristalização de sais

	Peso inicial (g)	Ciclos															ΔM (%)
		1 (g)	2 (g)	3 (g)	4 (g)	5 (g)	6 (g)	7 (g)	8 (g)	9 (g)	10 (g)	11 (g)	12 (g)	13 (g)	14 (g)	15 (g)	
1	257,9	257,1	257,1	257,1	257,3	257,4	257,5	257,5	257,8	257,7	257,8	257,8	257,9	258,1	258,2	258,3	0,16
2	257,4	257,4	257,5	257,6	257,6	257,7	257,9	257,8	257,8	257,9	258	257,9	258,2	258,0	258,1	258,0	0,23
3	258,8	258,9	258,9	259,0	259,1	259,3	259,3	259,4	259,4	259,5	259,7	259,6	259,6	259,7	259,7	259,7	0,35
4	259,1	259,4	259,4	259,5	259,6	259,6	259,5	259,7	259,9	259,9	259,8	259,8	260,0	260,1	260,0	260,0	0,35
Média																	0,27
Desvio Padrão																	0,08
Coef. de variação																	0,30
Valor mínimo esperado																	0,10
Valor máximo esperado																	0,63

Anexo B.4 – Lixiviação contínua com extrator Soxhlet

Amostra: Traquito São (TS); Traquito Alterado (TA); Traquito Mula (TM)

Data: 23/05/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Perda de peso das rochas

	Peso inicial (g)	Ciclo 1 (g)	Ciclo 2 (g)	Ciclo 3 (g)	Ciclo 4 (g)	Ciclo 5 (g)	ΔM Média (%)	ΔM Desvio padrão (%)
TS	135,69	135,27	134,95	134,45	134,74	134,38	0,69	0,24
TM	144,92	143,74	142,06	140,58	141,53	140,19	2,28	0,86
TA	142,08	141,7	141,1	140,39	140,89	140,35	0,84	0,35

Material filtrado do lixiviado

	Ciclos					Total	Média	Desvio Padrão
	1 (g)	2 (g)	3 (g)	4 (g)	5 (g)			
TS	0,12	0,11	0,17	0,16	0,1	0,66	0,13	0,03
TM	0,72	0,8	0,42	0,68	0,46	3,08	0,62	0,15
TA	0,18	0,12	0,19	0,06	0,08	0,63	0,13	0,05

Parâmetros do lixiviado

Temperatura = 21,3 °C

	pH	$\mu S/cm^2$
Água destilada	7,2	1

	1º Ciclo		2º Ciclo		3º Ciclo		4º Ciclo		5º Ciclo	
	pH	$\mu S/cm^2$	pH	$\mu S/cm^2$	pH	$\mu S/cm^2$	pH	$\mu S/cm^2$	pH	$\mu S/cm^2$
TS	9,7	204	9,6	131	9,9	159	9,5	127	9,3	142
TM	9,9	261	10,1	157	9,8	168	9,3	149	9,6	165
TA	9,6	221	9,9	203	10,1	221	9,9	215	9,4	200

	Média pH	Desvio padrão pH	Média $\mu S/cm^2$	Desvio padrão $\mu S/cm^2$
TS	9,6	0,2	152,6	28,0
TM	9,7	0,3	180,0	41,0
TA	9,8	0,3	212,0	8,9

Anexo B.5 – Ataque com reagentes químicos

Amostra: Traquito São (TS)Data: 5/09/2016Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Reagente	Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	ΔM (%)
H₂SO₄	1	129,68	130,21	-0,41
	2	125,54	126,17	-0,50
HNO₃	3	126,71	127,08	-0,29
	4	137,20	137,58	-0,28
HCl	5	123,07	123,35	-0,23
	6	127,75	128,23	-0,38
CH₃COOH	7	132,39	132,51	-0,09
	8	138,88	139,00	-0,09
KOH	9	121,55	121,70	-0,12
	10	131,08	131,52	-0,34
NaClO	11	132,98	133,98	-0,75
	12	131,03	132,05	-0,78
C₃H₆O	13	119,76	119,54	0,18
	14	135,97	135,71	0,19
C₂H₆O	15	123,26	123,30	-0,03
	16	135,88	135,64	0,18
NH₃	17	124,26	124,04	0,18
	18	123,92	123,72	0,16

Anexo C – Tabelas das análises químicas e mineralógica

Anexo C.1 – Microscópio eletrónico de varrimento

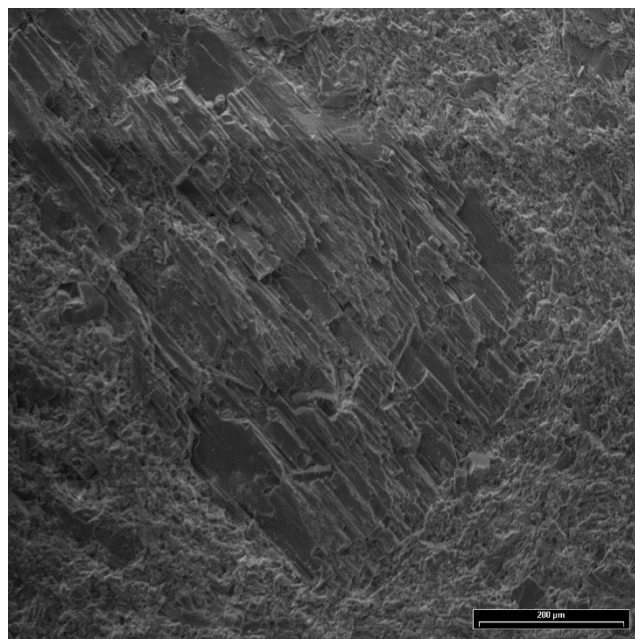
Amostra: Traquito São (TS)

Data: 20/10/2016

Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

Fórmula	% Óxidos	% Erro
Na₂O	5,81	0,273
MgO	2,44	0,191
Al₂O₃	7,77	0,362
SiO₂	64,47	0,947
P₂O₅	0,34	0,000
K₂O	3,65	0,297
CaO	3,69	0,214
TiO₂	0,99	0,111
MnO	0,42	0,155
Fe₂O₃	3,31	0,148
ZrO₂	0,11	0,117
Perda ao rubro	7,00	0,01
Total	100,00	

Fotografia da área onde se procedeu à quantificação química da rocha:



Anexo C.2 – Fluorescência de raios-X

Amostra: Traquito São (TS)Data: 14/06/2016Local: Departamento de geociências – Universidade de Aveiro

Fórmula	% Óxidos	% Erro
Na₂O	5,81	0,299
MgO	1,12	0,133
Al₂O₃	8,89	0,075
SiO₂	62,79	0,124
P₂O₅	0,23	0,058
K₂O	3,61	0,055
CaO	4,58	0,040
SO₃	1,27	0,042
MnO	0,05	0,028
Fe₂O₃	4,57	0,001
CuO	0,10	0,001
ZnO	0,01	1,27E-05
Perda ao rubro	7,00	0,01
Total	100,00	

Anexo C.3 – Absorção atómica

Amostra: Traquito São (TS) Data: 24/02/2017Local: Departamento de Ciências da Terra – FCT/UNL

		Fe			K			Na			Ca		
		ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada	ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada	ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada	ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada
TS	1	0	0,0225	0	8,653	0,1346	8,653	2,836	0,174	2,836	2,682	0,0421	2,682
	2	0	0,0205	0	2,888	0,0065	11,541	3,486	0,0698	6,322	3,279	0,0661	5,961
	3	0,02	0,0262	0,02	2,4	0,0233	13,941	3,486	0,045	9,808	3,072	0,0363	9,033
	4	0,016	0,0156	0,036	1,974	0,0172	15,915	2,954	0,0728	12,762	0,627	0,1191	9,660
	5	0,036	0,0106	0,072	1,077	0,0088	16,992	3,061	0,115	15,823	0,24	0,0028	9,900
TM	1	0	0,0089	0	9,766	0,1179	9,766	3,391	0,4013	3,391	2,374	0,0303	2,374
	2	0	0,0074	0	8,723	0,0611	18,489	3,663	0,1912	7,054	2,757	0,0284	5,131
	3	0,015	0,0098	0,015	6,55	0,0361	25,039	3,661	0,1401	10,715	0,969	0,0306	6,1
	4	0,02	0,0147	0,035	6,558	0,0361	31,597	3,071	0,0219	13,786	1,761	0,0361	7,861
	5	0,016	0,0069	0,051	4,691	0,0367	36,288	2,835	0,179	16,621	2,925	0,0418	10,786
TA	1	0	0,0099	0	8,601	0,1133	8,601	3,147	0,1658	3,147	0,702	0,0053	0,702
	2	0,002	0,0067	0,002	4,831	0,0209	13,432	3,602	0,099	6,749	2,038	0,0292	2,74
	3	0,012	0,0036	0,014	6,302	0,049	19,734	2,972	0,1222	9,721	2,446	0,0435	5,186
	4	0,014	0,0085	0,028	4,872	0,0128	24,606	2,847	0,1308	12,568	2,206	0,1308	7,392
	5	0,011	0,0035	0,039	2,435	0,0183	27,041	2,69	0,0661	15,258	0,676	0,0025	8,068

8. Anexos

		Mg			Si			Al		
		ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada	ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada	ppm	Desvio Padrão	ppm acumulada
TS	1	0,009	0,0001	0,009	44,281	0,1192	44,281	0,186	0,1832	0,186
	2	0,015	0,0002	0,024	41,594	0,4021	85,875	0,178	0,0677	0,364
	3	0,015	0,0002	0,039	49,137	0,4640	135,012	0,299	0,1249	0,663
	4	0,005	0,0001	0,044	52,691	1,0526	187,703	0,321	0,0898	0,984
	5	0,003	0,0001	0,047	70,192	0,1663	257,895	0,473	0,0946	1,457
TM	1	0,008	0	0,008	43,697	0,6164	43,697	0,256	0,1034	0,256
	2	0,006	0,0002	0,014	65,078	0,3679	108,775	0,226	0,0466	0,482
	3	0,008	0,0002	0,022	40,782	0,1896	149,557	0,283	0,0621	0,765
	4	0,007	0,0002	0,029	40,785	1,2813	190,342	0,298	0,0478	1,063
	5	0,003	0,0001	0,032	41,871	0,7126	232,213	0,369	0,0805	1,432
TA	1	0,005	0,0001	0,005	38,058	0,4818	38,058	0,258	0,1968	0,258
	2	0,008	0,0002	0,013	52,097	0,5931	90,155	0,137	0,0592	0,395
	3	0,007	0,0001	0,020	57,111	0,6314	147,266	0,327	0,0776	0,722
	4	0,007	0,0001	0,027	50,032	0,5162	197,298	0,319	0,1432	1,041
	5	0,001	0	0,028	58,790	0,2081	256,088	0,472	0,1127	1,513